



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH

**Escola Superior d'Enginyeries Industrial,
Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa**

Treball Final de Grau

Grau en Enginyeria en Tecnologies Industrials

PROJECTE D'UN XASSÍS DE BICI DE TRIAL

MEMÒRIA

Autor:	Xavi Palet Avilés
Director:	Francisco Javier Freire Venegas
Codirectora:	Beatriz Puras Gomez
Convocatòria:	Juny de 2019



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH

Escola Superior d'Enginyeries Industrial,
Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa

Titulació:

Grau en Enginyeria en Tecnologies Industrials

Alumne:

Xavi Palet Avilés

Títol TFG:

PROJECTE D'UN XASSÍS DE BICI DE TRIAL

Director del TFG:

Francisco Javier Freire Venegas

Codirectora del TFG:

Beatriz Puras Gomez

Convocatòria de lliurament del TFG:

Juny 2019

Contingut d'aquest volum: **MEMÒRIA**

RESUM

El projecte tracta sobre el disseny d'un xassís per a una bicicleta de trial i la validació del mateix mitjançant un estudi de càlcul estructural. L'objectiu és doncs, aplicar les tècniques modernes per al disseny del quadre i el càlcul estructural i aconseguir un producte que compleixi els requisits d'aquesta modalitat esportiva.

El projecte s'inicia amb un marc teòric que situa al lector dins el món del trial i amb el qual es transmeten els coneixements bàsics que defineixen els aspectes tècnics que comporta la pràctica del trial.

La fase de disseny comença amb un estudi de la geometria 2D que caracteritza el quadre i posteriorment se'n fa la simulació de modelat 3D amb el software de disseny assistit per ordinador SolidWorks.

Per a la validació del disseny proposat i amb el mateix programa, es realitza el càlcul estructural amb el mètode dels elements finits.

Adicionalment, s'elaboren els plànols necessaris del quadre dissenyat, es fa una valoració del pressupost del projecte i es genera el plec de condicions al qual s'acull.

ABSTRACT

This project is about the design of a trials bike frame and its validation through a structural calculation study. The main objective is to apply modern techniques for the design of the frame and the structural calculations in order to achieve a product which meets the requirements that this sport implies.

The project starts with a theoretical framework that places the reader in the world of “trial” sport in order to transmit the basic knowledge about this modality that defines the technical aspects involved in the practice of “trial”.

The design phase begins with a study of the 2D geometry that characterizes the chassis and continues with the 3D modelling with the computer-aided design software SolidWorks.

For the validation of the proposed design and with an additional modulus of the same software, the structural calculation by the finite element method is carried out.

Additionally, the necessary drawings of the frame are elaborated, an evaluation of the budget is made and the compilation of the technical specifications that the project shall follow are generated.

ÍNDEX DE CONTINGUTS

1. PREFACI	12
2. INTRODUCCIÓ	13
2.1. JUSTIFICACIÓ	13
2.2. OBJECTE DEL PROJECTE	13
2.3. ESPECIFICACIONS BÀSIQUES	14
2.4. ABAST	14
3. ESTAT DE L'ART	16
3.1. ANTECEDENTS, EL TRIAL	16
3.2. NAIXEMENT I HISTÒRIA DEL BIKETRIAL	18
3.3. EL BIKETRIAL	23
3.3.1. MODALITATS	23
3.3.2. REGLAMENT	25
3.4. LA BICICLETA	27
3.4.1. RODES	28
3.4.2. TRANSMISSIÓ	30
3.4.3. FRENS	33
3.4.4. DIRECCIÓ	34
3.4.5. QUADRE	36
3.5. EVOLUCIÓ DE LA BICICLETA DE TRIAL	37
4. DISSENY DEL QUADRE	39
4.1. GEOMETRÍA 2D	39
4.1.1. ELECCIÓ DELS PARÀMETRES PER AL DISSENY	41
4.2. SIMULACIÓ DE MODELAT 3D	44
4.2.1. COMPONENTS ALS QUALS S'HA D'ADAPTAR EL DISSENY ...	46
4.2.2. PROCÉS DE MODELAT 3D	47
5. SELECCIÓ DE MATERIALS	53
5.1. PROPIETATS FÍSQUES DELS MATERIALS	53
5.2. ACER	54
5.3. ALUMINI	55

5.4.	TITANI	55
5.5.	FIBRA DE CARBONI	56
5.6.	COMPARATIVA	57
6.	CÀLCUL ESTRUCTURAL	61
6.1.	MÈTODE DELS ELEMENTS FINITS	61
6.1.1.	MALLAT	62
6.2.	CONDICIONS I FORCES APLICADES	63
6.2.1.	DETERMINACIÓ DE LA FORÇA	65
6.2.2.	CAS 1: Recolzament sobre les dues rodes	65
6.2.3.	CAS 2: Recolzament sobre la roda posterior	68
6.3.	ANÀLISI DE RESULTATS	69
6.3.1.	CAS 1: Recolzament sobre les dues rodes	70
6.3.2.	CAS 2: Recolzament sobre la roda posterior	73
6.3.3.	VALIDACIÓ DEL DISSENY	76
7.	RESUM DEL PRESSUPOST	77
7.1.	HONORARIS PROFESSIONALS	77
7.2.	COSTOS DE PRODUCCIÓ	77
8.	CONCLUSIONS	78
8.1.	VALORACIÓ PERSONAL	79
9.	BIBLIOGRAFIA	80
9.1.	BIBLIOGRAFIA GENERAL CONSULTADA	80
9.2.	REFERÈNCIES BIBLIOGRÀFIQUES	84
	ANNEX I. PLANIFICACIÓ	85
	ANNEX II. INFORMES DE SOLIDWORKS	87

ÍNDEX D'IMATGES

Imatge 1. Fotografia dels Scottish Six Days Trials als Highlands d'Escòcia.	17
Imatge 2. Dos nois practicant trial amb les seves bicicletes tipus BH.....	19
Imatge 3. De dreta a esquerra, "Montesitas" T-5, T-10 i T-15.	21
Imatge 4. Logo del Trialsín, any 1980.	21
Imatge 5. Benito Ros en una competició de trial outdoor.	23
Imatge 6. Ot Pi en una competició de trial indoor.....	24
Imatge 7. Danny MacAskill practicant Street trial amb una bici de 24".	25
Imatge 8. Components d'una bicicleta de trial.....	28
Imatge 9. Conjunt de pneumàtics Monty ProRace.	29
Imatge 10. Llandes de 20", 24" i 26".....	29
Imatge 11. Radis d'acer inoxidable negres.	30
Imatge 12. Boixa i eix Monty ProRace d'Alumini amb acabat vermell.	30
Imatge 13. Pedals tipus gàbia (esquerra) i tipus plataforma (dreta).	31
Imatge 14. Bieles i pedaler Clean BB30 tipus ISIS amb sistema PressFit.....	32
Imatge 15. Pinyó lliure Monty de 16 dents.	32
Imatge 16. Protector Comas tipus "ring".	33
Imatge 17. Conjunt de frens de disc hidràulics Magura MT7.....	34
Imatge 18. Manillar de carboni de doble altura Hashtag.	35
Imatge 19. Potència Comas 140mm x 20°.	35
Imatge 20. Primera forquilla conificada del mercat (Monty 2016).....	36
Imatge 21. Parts d'un quadre de bici de trial.	36
Imatge 22. Evolució i invents de Bicicletes Monty.	38
Imatge 23. Geometria i paràmetres geomètrics d'un quadre de bici de trial.	39
Imatge 24. Plantejament de la geometria 2D del quadre amb SolidWorks.	43
Imatge 25. Detall de la geometria 2D amb les rodes croquisades.....	44
Imatge 26. Procés de disseny amb SolidWorks.	45
Imatge 27. Vista i detall del tub de direcció.	47
Imatge 28. Croquis de les opcions de trajectòria del tub principal. A la dreta el perfil escollit.	48
Imatge 29. Perfil de secció i modelat del tub principal.....	48
Imatge 30. Detall de la unió dels tubs principal i de direcció.	49
Imatge 31. Detall de la caixa del pedaler i vista general del modelatge fins al moment.	49
Imatge 32. Croquis del perfil exterior de les beines i vista global de la unió amb el quadre.	50
Imatge 33. Vistes de secció del quadre on s'aprecia l'espessor del disseny.	50
Imatge 34. Detall de les punteres i del forat de la cadena.....	51
Imatge 35. Vista en alçat del quadre amb el croquis geomètric conceptual.	51

Imatge 36. Renderitzat del quadre amb aliatge d'alumini 6061-T6 (vista isomètrica).....	51
Imatge 37. Renderitzat del quadre amb aliatge d'alumini 6061-T6 (vista isomètrica dreta).....	52
Imatge 38. Renderitzat del quadre amb aliatge d'alumini 6061-T6 (vista isomètrica posterior).....	52
Imatge 39. Efecte de l'orientació de les fibres sobre la resistència del compost.	57
Imatge 40. Mallat del model 3D del quadre.....	62
Imatge 41. Detall del mallat a les unions del tub principal amb les beines i el tub de direcció.....	63
Imatge 42. Posició d'estudi del primer cas.....	66
Imatge 43. Distribució del pes corporal en % per home i dona.....	66
Imatge 44. Estat de càrrega i condicions de contorn del primer cas d'estudi.	67
Imatge 45. Posició d'estudi del segon cas.....	68
Imatge 46. Estat de càrrega i condicions de contorn del segon cas d'estudi.....	69
Imatge 47. Estat tensional del quadre.....	70
Imatge 48. Zones de concentració de tensions.....	71
Imatge 49. Zona de màxima sol·licitació. Tensió màxima de 33'98 MPa.	71
Imatge 50. Desplaçaments del quadre.....	72
Imatge 51. Comparativa de la deformació abans i després d'aplicar la càrrega. Escala 400:1.....	72
Imatge 52. Estat tensional del quadre.....	73
Imatge 53. Zona de màxima sol·licitació. Tensió màxima de 112'8 MPa.	74
Imatge 54. Desplaçaments del quadre.....	75
Imatge 55. Comparativa de la deformació abans i després d'aplicar la càrrega. Escala 50:1.....	75
Imatge 56. Diagrama inicial de l'estructura de descomposició de tasques (WBS).	85
Imatge 57. Diagrama de Gantt.....	86

ÍNDEX DE TAULES

Taula 1. Resum de les principals diferències entre el biketrial i el bicitrial.....	26
Taula 2. Comparativa de la geometria del quadre de diferents models de bicicleta. Valors en mm.	42
Taula 3. Variables geomètriques escollides per al disseny del quadre.....	43
Taula 4. Propietats i característiques de l'alumini 6061-T6.	60
Taula 5. Normativa referent a les bicicletes.	64
Taula 6. Pressupost dels de desenvolupament del projecte. Honoraris professionals.	77
Taula 7. Pressupost dels costos de fabricació d'un quadre i testeig del prototip.77	
Taula 8. Programació de les tasques.....	86

ÍNDIX DE GRÀFIQUES

Gràfic 1. Comparativa de les propietats físico-mecàniques dels materials estudiats.	58
Gràfic 2. Relació entre elasticitat i densitat.	59
Gràfic 3. Relació entre resistència i densitat.	59

ÍNDEX D'EQUACIONS

Equació 1. Mòdul de Young	53
Equació 2. Força que exerceix el pilot sobre el quadre.	65
Equació 3 i 4. Distribució de forces del cas 1.	67

1. PREFACI

Aquest Treball Final de Grau tracta sobre el disseny i validació mitjançant un estudi de càlcul estructural d'un quadre per a una bicicleta de trial pensat per a pilots adults i per a la modalitat 20".

Aquesta modalitat del ciclisme és un esport d'alta competició on les diferents marques fabricants de bicicletes líders en el sector compten amb els millors equips d'enginyers. Es tracta d'un mercat que compta amb la tecnologia més innovadora per aconseguir els millors resultats a l'hora de competir amb el producte que ofereix.

L'enfoc del projecte més realista no és plantejar un disseny innovador i altament competitiu sinó aprendre i nodrir-se del procés de disseny d'un quadre de bicicleta de manera autodidacta i tenint present les limitacions d'un estudiant de grau.

Es convida al lector a acompanyar l'autor durant aquest procés de disseny i validació que ha suposat un gran repte i una etapa de superació personal i d'aprenentatge autodidacte dins el món tècnic del trial en bicicleta.

Voldria expressar el meu més sincer agraïment a totes les persones que s'han involucrat de manera directa o indirecta en aquest projecte i m'han recolzat durant la realització del mateix.

En primer lloc, a Francisco Javier Freire, tutor d'aquest treball, i a Beatriz Puras, cotutora del mateix, per haver-se mostrat receptius i amb total disponibilitat, així com per tota l'ajuda i els consells rebuts.

Agrair també a Miguel Liberal, product manager de l'empresa Monty, per respondre alguns dels dubtes tècnics plantejats i mostrar-se amb plena disposició de brindar ajuda en els aspectes necessaris.

Finalment, a la família, amics, i a l'entorn més proper per la paciència, el suport i recolzament aportats en tot moment i per confiar plenament en mi i en les meves capacitats.

2. INTRODUCCIÓ

Prèviament a l'inici de qualsevol projecte és precís establir les bases per a la realització d'aquest: objectius, justificació, especificacions bàsiques i abast del projecte.

2.1. JUSTIFICACIÓ

La motivació personal per a la realització d'aquest Treball Final de Grau en Enginyeria en Tecnologies Industrials ve donada principalment per a la devoció cap a l'especialitat mecànica d'entre la visió general de les moltes branques de la enginyeria que ofereix aquesta carrera, afegida a la passió que he tingut des de petit pel món del trial, després de quedar fascinat al veure una actuació del mundialment reconegut Ot Pi quan jo tan sols era un nen.

Des de llavors, tot i ser un aficionat, he mantingut un interès especial per aquest esport, molt relacionat tècnicament amb l'especialitat enginyeril de la mecànica, fet que m'ha portat a escollir finalment la temàtica del projecte.

Tret que el trial en bici és un esport d'alta competició a nivell tècnic, sóc conscient que el disseny d'un quadre que pugui desenvolupar un estudiant de grau no s'equipararà al d'un fabricant de bicicletes de trial creat per un equip d'enginyers especialitzats en el sector i per aquest motiu, l'enfoc d'aquest projecte es basa principalment en l'aprenentatge personal i autodidacta dins d'un sector de la branca tècnica mecànica de l'enginyeria d'especial interès personal. L'objectiu doncs, serà aplicar les tècniques modernes de disseny a un cas pràctic per a un quadre de bicicleta de trial.

2.2. OBJECTE DEL PROJECTE

L'objectiu d'aquest Treball Final de Grau és aplicar les tècniques modernes de disseny per a un xassís o quadre de bicicleta de trial que compleixi les prestacions necessàries per a la pràctica d'aquest esport i realitzar-ne el càlcul estructural per a estudiar la viabilitat del disseny i validar-lo.

Per tal d'assolir amb èxit els objectius del projecte serà necessari fer una simulació de modelat 3D de la geometria del disseny així com seleccionar el millor material de fabricació que asseguri una bona relació entre les propietats mecàniques interessants en aquesta modalitat esportiva, sobretot relació resistència/pes, per posteriorment realitzar un estudi estructural valorant tensions de Von Misses, desplaçaments i deformacions, dels esforços als quals estarà sotmès el xassís en algunes de les situacions més habituals d'ús.

2.3. ESPECIFICACIONS BÀSIQUES

Al tractar-se d'un treball de caire acadèmic i que no ha estat contractat per cap client i, hipotèticament no existeix una necessitat real a satisfer, el projecte no té marcades les especificacions que ha de complir. És per això que a continuació es definiran algunes especificacions bàsiques imposades que s'haurà de seguir al llarg de l'elaboració del projecte:

- El quadre ha de ser adient per a la modalitat de trial 20"
- El disseny del quadre ha d'estar pensat per a pilots adults
- El quadre serà monocasc
- El càlcul estructural ha de poder validar el disseny per a la fabricació d'un prototip
- El projecte s'acollirà als plecs de condicions i normativa existents

2.4. ABAST

Per a dur a terme de manera satisfactòria aquest Treball Final de Grau el més important és comptar amb un bon disseny geomètric i el seu modelat 3D. El que es pretén és utilitzar les mesures de referència dels models de quadre de bicicleta de trial més competitius utilitzats en el mercat d'avui en dia i adaptar-les per a aconseguir una geometria lleugerament diferent que permeti brindar alguna millora i ajustar-se a les exigències de la modalitat de trial 20".

Per al disseny de la geometria en 2D es determinaran els paràmetres següents:

- Diàmetre de rodes
- Distància entre eixos
- Distància del pedaler al eix posterior
- Altura del pedaler
- Angle de direcció
- Longitud de beina
- Longitud del tub de direcció
- Longitud de "reach"

Amb aquests paràmetres definits, el disseny 3D s'acabarà de determinar seleccionant la secció del tub i demés elements i tenint en compte els components de mercat que anirien acoblats al quadre i en conjunt formarien la totalitat de la bicicleta.

Per a fer el disseny o croquis 2D de la geometria del quadre i modelar-lo en 3D es farà servir el software de disseny assistit per ordinador (CAD) SolidWorks.

De les peces que formen el quadre i hagin estat dissenyades dins el contingut d'aquest treball se'n farà l'elaboració dels plànols pertinents.

Seguidament es procedirà a la selecció de materials, l'elecció es farà en funció de les propietats físiques i mecàniques dels materials candidats que són presents actualment en el mercat sector. No s'entrarà en l'estudi del mètode de conformat de les peces ni de la tècnica de soldadura i acabats superficials ni tampoc en l'assemblatge o muntatge del quadre.

Finalment, amb el model 3D i la selecció de materials es realitzarà un estudi tensional pel mètode dels elements finits amb càlculs estàtics lineals (càlcul estructural) per a veure les seccions més sol·licitades i el comportament del quadre sota unes condicions d'esforç concretes i en funció dels resultats obtinguts es redissenyaran aquells elements que ho requereixin o bé es validarà el model inicial proposat. Aquest estudi contemplarà únicament les sol·licitacions del quadre en vers a l'esforç estàtic de suportar el pilot, no es simularan càrregues d'impacte ni esforços de fatiga tot i tenir-ne consideracions al respecte durant l'anàlisi dels resultats obtinguts amb les proves realitzades.

Per al càlcul estructural mitjançant el mètode dels elements finits s'utilitzarà el mòdul de CAE (Computer Aided Engineering) que incorpora el programa SolidWorks: SolidWorks Simulation.

Per al pressupost, només es tindran en compte els costos referents als honoraris professionals com a enginyer de disseny i desenvolupament del producte i els costos referents a la fabricació dels components dissenyats en aquest treball, en cap cas els components de mercat que puguin ser utilitzats durant les fases de disseny i càlcul estructural del xassís objecte del treball.

3. ESTAT DE L'ART

Per tal de poder entendre amb exactitud les necessitats tècniques per a realitzar el disseny d'un xassís per a una bicicleta de trial, prèviament cal submergir-se en el món d'aquest esport i tenir presents els requeriments i necessitats que comporta. Així doncs, en aquest apartat es pretén contextualitzar el lector en el marc teòric d'aquest esport com és el trial. D'on ve? En que consisteix? Com es practica? S'intentarà donar resposta a totes aquestes preguntes bàsiques i introductòries sobre l'esport en qüestió per tal de poder entendre al llarg del treball les necessitats i especificacions tècniques que es presenten en el disseny d'un quadre d'una bicicleta d'aquesta modalitat.

3.1. ANTECEDENTS, EL TRIAL

El trial és una modalitat esportiva individual de la disciplina motociclista que es practica fora d'asfalt consistent en superar trams d'obstacles delimitats en un traçat concret dins d'una zona senyalitzada.

Alguns consideren el trial com la disciplina motociclista més antiga. El seu origen exacte es desconeix, però les indicacions més clares el situen al Regne Unit a començaments del segle XX. Les carreteres de tot Europa en aquells temps eren força precàries i els vorals podien resultar encara més dificultosos per a la circulació en motocicleta. Així doncs va sorgir el trial, quan el fet d'haver de recórrer aquests camins forçosament per arribar al seu destí, va donar peu a uns quants *gentlemen* de la zona a sobrepassar aquests obstacles de les carreteres, camins rurals i zones de camp a través amb la seva motocicleta, sense importar-ne la velocitat amb la que ho fessin sinó l'execució, per tal de mantenir el bon funcionament de la motocicleta. Inclús es realitzaven aquest tipus d'accions amb l'objectiu de provar la resistència dels vehicles a dues rodes adquirits per l'exercit.

Sembla obvi doncs, que aquesta pràctica no tan sols es duia a terme al Regne Unit sinó que tots els països amb producció motociclista es veurien amb les mateixes circumstàncies. Va ser a la Gran Bretanya però, on es va escriure el primer reglament i es va crear una prova específica per a aquest tipus d'esport. És per aquest motiu pel qual es situa l'origen del trial (*Observed trial* en anglès) al Regne Unit.

Exactament, el mes de juliol de l'any 1909 va tenir lloc la primera edició dels *Scottish Six Days Trials (SSDT)*, una prova d'habilitat per a cotxes, motocicletes, sidecars i altres vehicles motoritzats sobre rodes consistent en una travessia d'aproximadament 1600 Km per diverses zones dels Highlands d'Escòcia. Primerament la prova tenia una duració de cinc dies, tot i que va tenir tanta

acceptació que es va seguir realitzant els anys posteriors i l'any 1911 es va ampliar a sis dies de duració, caracteritzant-ne el nom que rep. Es tracta del naixement doncs, de la prova de trial més famosa del món, on el guanyador no es decidia per la velocitat sinó pels punts de penalització obtinguts segons l'habilitat amb que eren superades les diferents zones del recorregut.

La paraula *trial* en anglès significa prova, assaig, intent. I des d'aquell moment es va adoptar el vocable per a referir-se a l'esport nascut arrel de la competició dels SSdT.

Durant els anys següents, es van anar aplicant una sèrie de modificacions al reglament inicial, separant els vehicles en diferents categories ja que les motocicletes es mostraven clarament superiors a la resta de vehicles. I a l'any 1933, es va canviar la manera de penalitzar als participants segons el número de vegades que recolzaven els peus al terra a les zones controlades.



Imatge 1. Fotografia dels Scottish Six Days Trials als Highlands d'Escòcia.

Font: <https://www.trialworld.es/la-biblia-del-trial/>

Des dels seus inicis fins a mitjans del segle XX el trial es practicava, de forma reconeguda, únicament a les illes britàniques, amb les famoses motos britàniques amb motor de quatre temps, i era considerat com una disciplina complementària i com a entrenament, sobretot en hivern, dels pilots que corrien a la modalitat de motocròs i/o altres disciplines de velocitat amb motocicleta. Els anava molt bé combinar les dues pràctiques ja que el trial, a diferència de les altres modalitats, es podia practicar sota condicions climatològiques desfavorables, com la pluja o la neu, mentre que les curses de velocitat es veien altament afectades. A més, el

trial proporcionava als pilots un gran domini del vehicle en tot moment i un gran equilibri, trets diferencials per a millorar el pilotatge.

A partir de la dècada dels anys 60, aquest esport es va estendre als Països Baixos, Alemanya i França i va ser a l'any 1965, quan Sammy Miller, motociclista recordat com un dels millors pilots de trial de tots els temps, va introduir les motos de dos temps, amb col·laboració amb l'empresa catalana Bultaco, creant el model Bultaco Sherpa T. Un esdeveniment que va revolucionar el món del trial, fent-lo més espectacular i permetent als pilots encarar zones molt més difícils. A partir d'aquest moment, el trial es va convertir en un esport molt popular arreu del món i sobretot a Catalunya, on les empreses Bultaco, Montesa i Ossa hi van jugar un paper molt destacat.

Si bé el trial era comú practicar-lo en motocicleta, existia també la modalitat de *sidetrial*, on els pilots corrien amb motocicletes amb sidecar. Cal recordar, que als orígens dels *Scottish Six Days Trials*, la competició estava adreçada a qualsevol tipus de vehicle motoritzat sobre rodes i per tant, consten pràctiques amb motocicletes, sidecars però també automòbils. Tanmateix, la pròpia evolució del trial va comportar la exclusivitat de la moto com a mitjà per practicar l'esport i no va ser fins a finals dels anys 70, quan es va començar a fer trial amb altres tipus de vehicle com ara cotxes 4x4, camions i vehicles no motoritzats: bicicletes.

D'aquí en endavant, es farà referència exclusivament al trial practicat amb bicicleta, anomenat biketrial o bicitrial, que és l'objecte del treball. En algunes ocasions és possible que s'utilitzi el vocable abreujat: trial fent referència a l'esport practicat amb bicicleta.

3.2. NAIXEMENT I HISTÒRIA DEL BIKETRIAL

Quan el trial en moto va arribar a Catalunya, a finals dels anys 60 i principis dels 70, va causar un gran impacte social. Va esdevenir un esport molt arrelat a la nostra terra, amb marques líders en la fabricació de motocicletes de trial: Bultaco, Montesa i Ossa, i amb els millors pilots.

El naixement del BikeTrial com a esport va succeir en aquest context, quan, a la ciutat de Sabadell (Vallès Occidental), un grup de nois aficionats al trial en moto, que per qüestions d'edat o bé econòmiques no podien permetre's una motocicleta, van començar a reunir-se amb les seves bicicletes de passeig per imitar els seus ídols del trial. Aquestes bicicletes, eren tipus BH de passeig a les quals els havien fet algunes modificacions per reforçar-les i d'aquesta manera emular la pràctica del trial.



Imatge 2. Dos nois practicant trial amb les seves bicicletes tipus BH.

Font: <https://trial4life.sport.blog/tag/historia/>

La regularitat de les trobades dels joves al que actualment és el Parc Catalunya de Sabadell, va impulsar-los a començar a organitzar proves de trial d'índole urbana a imatge i semblança de les competicions de trial en moto, amb reglament adaptat per a les seves bicicletes. Per allà l'any 1974 ja s'organitzaven trials quinzenals o mensuals a diferents zones de la ciutat de Sabadell. Poc a poc, el que era anomenat BiciTrial, va arribar a altres poblacions del Vallès com Sant Feliu de Codines o Sant Llorenç Savall, entre d'altres, i com a conseqüència de la bona acceptació i la ràpida evolució de la variant del trial en motocicleta, pioner a la zona, l'any 1976 es va organitzar el primer Trofeu Ciutat de Sabadell, el primer esdeveniment oficial de bicitrial del món. I tan sols un any després, al 1977 va tenir lloc el primer campionat de Catalunya.

Ràpidament, els joves apassionats d'aquesta modalitat del trial sense motor van passar del conformisme de les bicicletes clàssiques de l'època a buscar cada vegada més, noves maneres d'adaptar la bicicleta i modificar-la per a poder fer més trucs, superar zones més difícils i plantejar-se nous reptes que per la tipologia de les bicicletes existents resultaven gairebé impossibles. El problema principal que se'ls plantejava però, era que en el mercat no hi havia components prou resistents o específics per a les exigències que plantejava aquesta nova manera d'utilitzar la bicicleta.

Els nois, en busca d'ajuda amb les modificacions que volien realitzar, acudien als diferents establiments de bicicletes del moment. Els primers en especialitzar-se en la remodelació de bicis van ser Cicles Monteys, a Sabadell, que amb l'ajuda i col·laboració dels nois del bicitrial van desenvolupar un model de bicicleta adaptada i reforçada, que resultava innovadora respecte les bicicletes que es comercialitzaven en aquell moment.

Paral·lelament a tot això, Pere Pi, era un reconegut pilot de motocicleta barceloní que havia estat sis vegades campió d'Espanya de motocròs, campió d'Espanya de velocitat i el primer campió d'Espanya de trial en moto, essent el primer pilot de la història en guanyar les tres modalitats alhora. Exercia d'enginyer en cap de desenvolupament de producte a l'empresa Montesa, una de les líders en fabricació i desenvolupament de motocicletes de trial, i es va interessar molt per el nou esport en part, gràcies al seu fill, Ot Pi, per al qual va dissenyar una moto per a nens, la Montesa Cappa. Tot i així, el petit Ot preferia una bicicleta i degut a la passió trialera de la família, Pere Pi es va disposar a comprar-n'hi una de muntanya per a fer bicitrial. Va ser llavors, quan se'n va donar compte que al mercat no existia aquest tipus de bicicleta amb les característiques que ell buscava. Amb l'experiència professional que havia acumulat amb 25 anys desenvolupant motos per a Montesa, Pere Pi no es va conformar amb els models de bicicleta existents i va decidir dissenyar i crear-ne una de nova ell mateix especial per a la pràctica del trial: La geometria d'aquesta nova bicicleta estava pensada per a la conducció de peu, amb el xassís reforçat i el manillar i les rodes més amples, a més, per a fer-la més lleugera, va eliminar-n'hi tots els components decoratius i/o que no afectaven al maneig de la bici, a imatge i semblança del trial en moto.

Al cap d'un temps veient el seu fill practicant trial amb aquest nou model de bicicleta, va veure-li un gran potencial per a aquest esport innovador i les possibilitats que aquest presentava. Al adonar-se d'això, Pere Pi va proposar a Pere Permanyer, amo de Montesa, fabricar en sèrie la bicicleta que havia dissenyat, i el propietari de l'empresa es va interessar molt per el tema, però va posar una única condició: Montesa cobriria totes les despeses econòmiques però no es podria fer càrrec de la producció, així que Pere Pi va haver d'encarregar-se personalment de poder tirar endavant el projecte. Cap al 1977, ja estaven llestos tots els preparatius i es va fer el llançament de la primera i única bicicleta fabricada per Montesa, la "Montesita". Se'n van fabricar els models T-5, T-10 i T-15, aquest darrer va ser el primer model de bicicleta de trial fabricada en sèrie.



Imatge 3. De dreta a esquerra, "Montesitas" T-5, T-10 i T-15.

Font pròpia, imatge capturada al mNACTEC a Terrassa.

Gràcies a l'èxit indiscutible que van causar les "Montesitas", al 1978 el senyor Pere Pi va començar a escriure un reglament molt semblant al del trial en moto però adaptat a la bicicleta que havia dissenyat. La seva extensa carrera com a pilot de motos professional i com a enginyer de Montesa havia proporcionat a Pi una gran xarxa de contactes en el món del trial tant a nivell de mitjans de comunicació com a nivell d'institucions públiques, així que un cop va tenir llest el reglament, va presentar-lo al CSD (Consejo Superior de Deportes) per a sol·licitar una federació que es fes càrrec d'aquest nou esport sota el nom de Trialsín, acrònim de trial sin motor. Per la naturalesa de l'esport, aquest ballava entre el trial (motociclisme) i el ciclisme, i finalment, després d'una reunió amb els presidents de les federacions de motociclisme i ciclisme, es va decidir incloure el trialsín dins la RFEC (Real Federación Española de Ciclismo). L'any 1981 es va aprovar oficialment el nom de Trialsín i el reglament proposats per Pere Pi.

Malgrat el senyor Pere Pi no és l'inventor de l'esport, va ser ell el primer en donar-li una visió més enllà de l'entreteniment i es va encarregar personalment de difondre'l i oficialitzar-lo, és per això, doncs, que se'l considera el pare del trial en bicicleta.



Imatge 4. Logo del Trialsín, any 1980.

Font: <http://www.otpi.com/ca/pics/gallery6/>

Amb la presència internacional de Montesa, es va aconseguir una expansió gairebé immediata del trialsín, l'any 1982 es va disputar la primera Copa d'Europa i el 1986 va arribar el primer Campionat del Món de trialsín.

Un esdeveniment remarcable a la història del biketrial va ser el naixement de l'empresa Bicicletes Monty, fundada per Pere Pi després del tancament de Montesa l'any 1983. Monty va ser i és encara avui dia l'empresa líder mundial en fabricació i desenvolupament innovador de bicicletes de trial, gaudint de la enorme projecció mundial que va aconseguir amb el pilot Ot Pi, un referent arreu del món en aquesta disciplina.

Malgrat l'acceptació social del trialsín, la RFEC i posteriorment la UCI (Unió Ciclista Internacional), sempre van considerar el trialsín com un esport d'entreteniment i de segon nivell dins de la categoria ciclista. La manca d'interès per part de les institucions que regulaven aquest esport, va provocar el descontentament dels responsables de la comissió de trialsín. Per aquest motiu i a raó d'un campionat mundial a principis dels 90, van tenir lloc una sèrie de reunions amb els delegats de tots els països per fer front al poc recolzament rebut per part de la federació. L'any 1992 es va crear la BIU (Biketrial International Union), que a partir d'aleshores es va fer càrrec del trialsín. Per temes d'internacionalització es va passar a denominar l'esport com a BikeTrial.

Des de llavors, l'evolució del biketrial ha estat geomètrica, els responsables de representar l'esport s'han encarregat de potenciar-lo sense derivar-lo a altres variants i/o especialitats. Tot i estar regulat per la BIU, la UCI encara manté una modalitat de trial, que per a diferenciar-la del biketrial de la BIU l'anomenen bicitrial.

A nivell nacional, fins el 2009, aquest esport era regulat per la Unió Espanyola de Biketrial, però a finals d'any, la BIU i la E.B.U (European Biketrial Union) van reconèixer a Catalunya com un representant nacional més, motiu pel qual actualment hi tenim representació amb veu i vot als organismes oficials i dret a competir com a nació amb les condicions de la resta de països. L'any 2010 Catalunya va participar per primera vegada independentment amb reconeixement internacional de la selecció catalana.

Avui en dia, temporada rere temporada s'organitzen tots els campionats i proves previstes tot i no rebre gaire ajuda per part de les federacions i no gaudir de les facilitats que tenen altres esports de l'àmbit del ciclisme, i Catalunya segueix competint en harmonia al costat dels altres països essent la major referència mundial en el biketrial, tant per la qualitat organitzativa i implicació en l'esport com per el nivell dels seus pilots.

3.3. EL BIKETRIAL

El biketrial, bicitrial o trial en bicicleta és un esport corresponent a la modalitat del ciclisme derivada del trial en motocicleta i practicat en un circuit natural o artificial on el pilot ha de superar els obstacles dels diferents trams sense posar els peus a terra en un temps màxim delimitat.

La base del trial és, a diferència dels altres esports amb bicicleta on el factor determinant és la velocitat, la destresa dels pilots. Consta en una prova d'habilitat extrema basada en l'equilibri i l'harmonia física i mental per assolir una execució precisa i neta dels moviments amb la bicicleta per tal de superar tot tipus d'obstacles. És segurament l'esport més complet sobre dues rodes i que requereix, a part de bona preparació física i mental, un domini absolut de la bici.

En una prova de trial hi ha una sèrie de zones marcades, distribuïdes i agrupades segons el nivell de dificultat a l'hora de superar els obstacles dins un circuit anomenat "interzona". El guanyador es el pilot que obtingui menys punts de penalització al final de la prova.

3.3.1. MODALITATS

Hi ha dos conceptes per a dividir en trial en diverses modalitats, segons l'entorn i segons la bicicleta:

- **Segons l'entorn**

Inicialment el trial es practicava en espais oberts a l'aire lliure aprofitant els obstacles naturals, que poden ser roques, troncs, rierols i desnivells del terreny entre molts d'altres. La modalitat a l'aire lliure pren el nom en anglès *trial outdoor*.



Imatge 5. Benito Ros en una competició de trial outdoor.

Font: <http://cleantrialsfactory.com/pilotos/benito-ros/>

Al cap d'un temps, amb el creixement i popularització de l'esport, es van començar a crear circuits de manera artificial i en pista coberta. El *trial indoor* és doncs, l'altre modalitat existent, on els pilots han de superar obstacles com palets, pneumàtics, tubs i peces de formigó, contenidors, etc.



Imatge 6. Ot Pi en una competició de trial indoor.

Font: <http://www.otpi.com/es/pics/gallery1/>

Es fa la distinció entre les modalitats indoor i outdoor ja que tot i compartir el mateix objectiu, la tècnica de pilotatge pot resultar força diferent per la caracterització única del terreny i dels obstacles a superar.

- Segons la bicicleta

Hi ha dues classes de bicicleta reconegudes per les normes actuals de competició, diferenciades principalment per el diàmetre de les rodes, tot i que a conseqüència d'aquest canvi altres components com per exemple el quadre se'n poden veure afectats.

Les *Mod bikes* o bicicletes mod, són bicicletes amb un diàmetre de roda aproximat de 20" (20 pulzades) i són les bicicletes amb les que es va inicialitzar el trial, per les seves característiques són més polivalents a l'hora de realitzar les maniobres i moviments típics d'aquest esport.

Les *Stock bikes* o bicicletes stock, provenen del ciclisme de muntanya, on se les coneix pel nom de BTT (bicicletes tot-terreny). A mitjans de la dècada dels anys 90 aproximadament, el biketrial va acceptar-les per a la pràctica de l'esport i en va crear una categoria. Actualment les bicicletes stock per al trial són de característiques similars a les bicicletes mod, però mantenen el diàmetre de roda de 26" característic de les bicicletes de muntanya fabricades en sèrie (stock en anglès), tret que va donar nom a aquesta modalitat.

A part de les dues mides reconegudes oficialment en el reglament del trial, existeix un tercer tipus de bicicleta, una combinació entre les *Mod* i les *Stock*. Reben el nom de *Hybrid bike* o bicicletes híbrides, equipades amb roda de 24" i amb quadres més aviat semblants als de les bicicletes de 26", que solen ser més grans que les de 20".

Tot i que durant les proves de trial corren indistintament les bicicletes de 20" i de 26", la classificació separa les dues categories, considerant-ne un campió per a cadascuna, per això es parla de modalitat segons la bicicleta.

- Street trial

Addicionalment als dos tipus de classificació de les modalitats reconegudes oficialment, existeix una altra modalitat per a la pràctica trial urbana fora de competició, l'*Street trial* o trial de carrer. L'objectiu d'aquesta modalitat és aprofitar l'entorn urbà i convertir-ne els seus elements distintius en obstacles a superar amb les bicicletes. En aquesta modalitat predominen les bicicletes tipus *Hybrid* o bé les de 26".



Imatge 7. Danny MacAskill practicant Street trial amb una bici de 24".

Font: <https://ridestoke.com/aviemore-spring-danny-macaskill-trials-mtb/>

3.3.2. REGLAMENT

Tal i com s'ha comentat anteriorment en alguna ocasió, des de l'escissió del trial com a esport existeixen dues variants, el bicitrial, regulat per la UCI i el biketrial, regulat per la BIU. La variant més popular és el biketrial, que es considera hereu directe del trialsín, primera versió oficial de l'esport. Tot i ser pràcticament idèntiques a l'hora de practicar-les, existeixen algunes petites diferències en el reglament de cadascuna.

El reglament del trial és basat en els punts de penalització, doncs el guanyador serà aquell pilot que tingui menys punts al acabar la prova. En el circuit interzona, cada secció o zona es valoren per separat, essent la puntuació màxima en cada

cas de cinc punts i la més baixa de zero. La penalització més habitual és recolzar un peu a terra, fet pel qual els punts s'anomenen normalment "peus". Complementàriament, si es recolzen els dos peus alhora o bé els pilots s'ajuden amb qualsevol altra part del cos, la penalització és de cinc punts, i excedir el límit de temps establert per a superar cada zona també es tradueix en una penalització de punts, en aquest cas diferent per a les variants de la UCI i la BIU. Indistintament a la federació que reguli la prova, superar la zona sense cap punt de penalització és coneix a l'argot del trial com a "net" i obtenir cinc punts s'anomena "fiasco", fet que assoleix la màxima puntuació per zona i no permet al pilot seguir superant els obstacles restants de la mateixa, obligant-lo a abandonar la zona.

A continuació es mostra una petita taula resum de les principals diferències reglamentàries bàsiques entre les variants del Biketrial i el Bicitrial.

Taula 1. Resum de les principals diferències entre el biketrial i el bicitrial.

Concepte	Biketrial		Bicitrial	
Federació internacional que el regula	BIU (Biketrial International Union)		UCI (Unió Ciclista Internacional)	
Reconegut pel COI (Comitè Olímpic Internacional)	No		Sí	
Reconeix Catalunya com a representant nacional	Sí		No	
Modalitat més habitual	Trial outdoor		Trial indoor	
Temps disponible per zona	2'		2' 30"	
Sistema de penalització per reglamentació bàsica	Falta	Punts	Falta	Punts
	Cap peu	0 / "net"	Cap peu	0 / "net"
	1 peu	1	1 peu	1
	2 peus	2	2 peus	2
	3 peus	3	3 peus	3
	4 peus		4 peus	4
	5 peus	5 / "fiasco"	5 peus	5 / "fiasco"
	Superar el límit de temps	5 / "fiasco"	Superar el límit de temps	1 punt per cada 15" extra

Concepte	Biketrial	Bicitrial
Permet contacte de la bicicleta amb els obstacles	Si, però només el protector, bieles i pedals	No, es penalitza amb 1 punt
Categories reconegudes		Women
	Elite	Elite
	Senior	
	Junior	Junior
		Girls
		Cadet
	Minime	Minime
	Benjamin	Benjamin
	Poussin	Poussin
	Femina	

3.4. LA BICICLETA

El trial es practica amb unes bicicletes especials, tal i com s'ha esmentat en algun apartat anterior, degut als requeriments d'aquest esport, la bicicleta idònia per a practicar-lo té un disseny geomètric peculiar i els components que la conformen són sovint diferents als de les bicicletes convencionals de muntanya o carretera.

En una bici de trial es busca la màxima lleugeresa per tal de superar els obstacles amb més comoditat i reduint o aplaçant la fatiga muscular del pilot. Es per això que són molt simples a nivell mecànic, ja que no tenen ni selló ni plat de canvis i la resta de components busquen la mínima expressió. El xassís sol ser fabricat de materials poc densos com l'alumini, el carboni o el titani. El component més important en una bicicleta de trial són els frens, ja que per la tècnica de l'esport es necessita una frenada precisa i eficaç sobre tot tipus de superfícies. Les rodes són més gruixudes en comparació a la resta de bicicletes per tal de tenir major superfície de contacte i afavorir l'estabilitat.



Imatge 8. Components d'una bicicleta de trial.

Font original: <https://cleantrials.com/es/k1-range/281-bicicleta-clean-k1-hopehope.html>

A grans trets, els components de les bicicletes de trial es poden agrupar en cinc grups genèrics: les rodes, la transmissió, el quadre, els frens i la direcció.

3.4.1. RODES

A banda de distingir entre les dues rodes d'una bicicleta, davantera (10) i posterior (1), que en el cas del trial són diferents, cada roda té els seus components.

- Pneumàtic o coberta

Els pneumàtics de trial són característics gràcies a l'amplada que proporciona una superfície de contacte més gran i la diferenciació entre el pneumàtic davanter i el posterior, lleugerament més ample. Les mides més comuns per a les bicicletes mod són 2 i 2.6 polzades respectivament.

En el trial, la pressió de la càmera d'aire dels pneumàtics es porta més fluixa per afavorir encara més l'adherència al terreny i esmorteir els impactes a l'hora de realitzar salts bruscs.



Imatge 9. Conjunt de pneumàtics Monty ProRace.

Font: <https://www.abantbikes.com/b2c/producto/monty-neumatico-prorace-conjunto/1/conjunto-neumaticos-monty-pro-race-superlight-logo-biketrial-trial>

- Llanda (2) i (11)

És la part exterior de la roda on va muntat el pneumàtic. Per la part interior s'hi col·loquen els radis, que transmeten les tensions fins a l'eix.

Els materials més emprats a la fabricació de llandes són l'alumini i la fibra de carboni.



Imatge 10. Llandes de 20", 24" i 26".

Font: <https://es.aliexpress.com/item/32401973886.html>

- Radis (14)

Els radis uneixen la llanda amb l'eix de la roda, repartint les tensions i garantint-ne el correcte alineament.

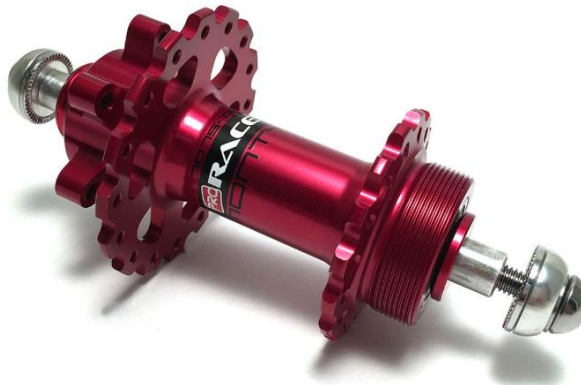


Imatge 11. Radis d'acer inoxidable negres.

Font: <https://www.montybikes.com/radio-acero-inox-2x185mm-negro-c2x26814716>

- Boixa i eix

Les boixes i eixos són el conjunt de eix i rodaments sobre els quals gira la roda. En aquest conjunt és on s'hi col·loca el disc de fre en cas que la bici en porti.



Imatge 12. Boixa i eix Monty ProRace d'Alumini amb acabat vermell.

Font: <https://www.montybikes.com/buje-trasero-fd-32h-al-rj-trial-prorace-c2x25742067>

3.4.2. TRANSMISSIÓ

La transmissió (3) és el mecanisme de la bicicleta encarregat de transmetre la força motriu del pilot a la bicicleta en forma de moviment. En el trial les relacions de transmissió són més baixes que en la resta de bicicletes per tal de proporcionar la potència necessària per a moure la bicicleta a velocitats molt baixes i no es poden canviar ja que no disposen de plats ni *cassette* de pinyons.

Aquest mecanisme el formen els pedals, bieles, pinyó lliure i fix, pedaler, cadena i protector.

- Pedals

Els pedals (12) són els components on el pilot recolza els peus quan esta damunt la bici i per tant on recolza gairebé tot el seu pes. Els podem trobar en forma tipus plataforma o tipus gàbia, ambdós compten amb una sèrie de pius o rugositats que eviten que el peu llisqui sobre els pedals.



Imatge 13. Pedals tipus gàbia (esquerra) i tipus plataforma (dreta).

Font: <https://www.jitsie.com/search?controller=search&s=pedal>

- Bieles

Les bieles (13) són l'element de transmissió de potencia dels pedals al pinyó, estan connectades a l'eix del pedaler i als pedals, muntades a 180º l'una de l'altre.

- Pedaler

El pedaler és un eix que conté el pinyó lliure i connecta les bieles i en sí, el sistema de transmissió, amb el quadre de la bicicleta a la caixa del pedaler.

Hi ha principalment dos tipus d'eixos de pedaler, els ISIS i els JIS. Els pedalers tipus JIS, també anomenats tipus "cuadrillo" consisteix en un conjunt de eix i rodaments incluíts d'uns d'una peça estanca d'on sobresurten els extrems de l'eix, de forma quadrangular. Els pedalers tipus ISIS són bàsicament l'evolució dels pedalers tipus JIS, però tenen un eix de major diàmetre i els extrems es caracteritzen per tenir una sèrie d'estries o ranures que fan més rígida la unió entre pinyo, biela i eix.

A banda de la tipologia de l'eix, els pedalers van muntats a la caixa del pedaler del quadre. N'hi ha que van roscats (sistema tradicional amb rosca BSA 1.37x24 Tpi), i n'hi ha que van encaixats a pressió, evitant la rosca. Els darrers s'anomena sistema Press Fit.



Imatge 14. Bieles i pedaler Clean BB30 tipus ISIS amb sistema PressFit.

Font: <https://cleantrials.com/es/339-bb30-3p-160mm.html>

- Pinyons

A les bicicletes de trial no hi ha plat ni cassette de pinyons, sinó que trobem un pinyó lliure a l'eix del pedaler i un pinyó fix a l'eix posterior. Aquest sistema afavoreix la pràctica del trial perquè permet aconseguir més explosivitat i al mateix temps reduir notablement el pes en comparació amb les bicicletes equipades amb plats i pinyons.

Els més comuns són els pinyons lliures de 16 o 18 dents i els pinyons fixes de 12, 13 o 15 dents.



Imatge 15. Pinyó lliure Monty de 16 dents.

Font: <https://www.montybikes.com/picon-libre-1v-16t-1359-m35-trial-prorace-c2x25747118>

- Cadena

La cadena és l'element final del mecanisme de transmissió, encarregada de transmetre la potència inicial que el pilot aplica als pedals cap a la roda posterior.

- Tensor de cadena

Existeixen dos tipus de tensors de cadena, els tipus excèntrica i els dobles o integrats. L'avantatge que presenten els excèntrics respecte els tensors de cadena dobles convencionals és la lleugeresa i l'aprofitament de l'espai ja que són dues peces de mida reduïda que van incorporades al mateix eix de la roda posterior.

- Protector

El protector de pinyó resulta un element força important per a les bicicletes de trial degut al ús que se'n fa de les mateixes durant la pràctica d'aquest esport, ja que els salts i maniobres emprats per a superar els obstacles sovint provoquen impactes a la bicicleta, sobretot a la part d'impuls on es troba el pinyó. Per aquest motiu, s'incorpora el protector de pinyó, inicialment només disponible tipus placa, protegint la part inferior del pedaler però actualment també existeix el protector tipus "ring", adossat al mateix pinyó fent-lo més lleuger i mantenint l'efectivitat.



Imatge 16. Protector Comas tipus "ring".

Font: <https://www.comastrial.com/shop/en/inicio/17-protector-pinion.html>

3.4.3. FRENS

En tota bicicleta hi ha d'haver frens per a poder controlar la velocitat de les rodes. Els frens s'encarreguen de generar una força de fricció suficient per a aturar la bicicleta i mantenir-la frenada. El trial requereix un control dels frens molt precís

Existeixen dos tipus de frens, hidràulics i mecànics, i alhora frens de disc o de llanda. Generalment els més potents són els frens de llanda hidràulics combinats amb reforços especials, tot i que els més comuns en relació qualitat/preu o bé qualitat/durabilitat són els frens de disc hidràulics.

L'accionament dels frens es fa a través d'unes manetes (8) situades al manillar. En el cas dels frens mecànics les manetes estiren un cable que acciona els frens i els frens hidràulics bombegen l'oli del circuit per donar pressió i accionar el fre.



Imatge 17. Conjunt de frens de disc hidràulics Magura MT7.

Font: <https://www.bike-discount.de/es/comprar/magura-mt7-hc-disc-brake-set-737701>

En una bicicleta, no necessàriament els frens davanters i els frens posteriors han de ser del mateix tipus, existeixen múltiples combinacions a l'hora d'escollir frens ja sigui per compatibilitat amb els suports per a fre que incorpori el quadre o bé per potència de frenada desitjada.

3.4.4. DIRECCIÓ

La direcció com a tal és un conjunt de dos rodaments instal·lats a cada extrem del tub de direcció del quadre la funció dels quals es assegurar que la forquilla pivoti lliurement sobre l'eix de direcció del tub. Pot ser externa, semi-integrada i integrada.

De totes maneres, sovint ens referim a la direcció d'una bicicleta per abastar tot el conjunt de components que intervenen d'alguna manera al canvi de direcció que realitza el pilot. Parlem doncs, del manillar, la potència i la forquilla.

- Manillar

El manillar (6) és un tub de secció variable que es troba a l'extrem de la potència i és on s'agafa el pilot per controlar la direcció de la bicicleta. En el trial els manillars són de doble altura, és a dir, presenten major altura per la part on el pilot l'agafa que per la part de la unió amb la potència. Solen ser conformats d'alumini o fibra de carboni, essent aquest últim més lleuger i amb millor absorció de vibracions tot i ser més cars i menys resistents als impactes.

Al manillar és on hi ha situades les manetes de fre i els punys (7), punt de subjecció del pilot.



Imatge 18. Manillar de carboni de doble altura Hashtag.

Font: <https://www.abantbikes.com/b2c/producto/hashtagg-manillar-carbono/1/manillar-de-carbono-hashtagg>

- Potencia

La potencia (5) és l'element que uneix el manillar amb la forquilla i per tant amb la resta de la bicicleta, es tracta d'un tub que a part de servir d'unió, segons la llargada i angle permet modificar la posició del manillar. Per a la pràctica del trial interessa que la potència sigui llarga i amb angles positius ja que així s'aconsegueix elevar el manillar i per tant situar el centre de gravetat del pilot més a prop de l'eix posterior i del pedaler. A més, com que els pilots de trial passen la major part del temps de pràctica amb la roda davantera aixecada, una potència d'aquestes característiques proporciona major comoditat a l'hora de pilotar.



Imatge 19. Potència Comas 140mm x 20°.

Font: <https://www.abantbikes.com/b2c/producto/comas-potencia-140/1/potencia-comas-140x20->

- Forquilla

La forquilla (9) és l'element que connecta la roda davantera amb el xassís i tanca el procés de direcció transmetent el moviment desitjat del pilot a la roda davantera. És conformada de dos tubs que convergeixen en un de sol el qual s'introdueix a l'eix del tub de direcció del quadre i pivota lliurement sobre el mateix. Actualment la tecnologia més usada per a la conformació de forquilles per a bicicletes de trial és la conifacació de tubs, que permet brindar un gruix variable al llarg del tub i aconseguir les millor propietats de resistència i lleugeresa.



Imatge 20. Primera forquilla conificada del mercat (Monty 2016).

Font: <https://www.montybikes.com/PBCPPlayer.asp?ID=1917703>

3.4.5. QUADRE

El quadre o xassís (4) és l'element principal de la bicicleta i el més important, és l'estructura sobre la que es munten la resta de components i que determina l'ús i comportament de la totalitat de la bicicleta. Les mides del quadre condicionen la geometria final de la bicicleta i la fan més òptima o menys per a la talla dels pilots.

Hi ha diferents possibilitats per a la confecció dels quadres de bicicleta, tant en material com en procés de fabricació. Els materials més comuns són l'alumini, aliatges de les series 6000 o 7000, el titani, la fibra de carboni, i el cromoly (crom i molibdè). En quant als processos de fabricació, hi ha la hidroformació, el conificat com a tècniques més habituals i per a les unions s'utilitza la soldadura TIG. La tecnologia més avançada actualment està present en els quadres monocasc, conformats amb motlles i d'una sola peça, de manera que estalviem el procés d'assemblatge amb soldadura.

A continuació, s'adjunta una imatge amb les diferents parts d'un quadre de bicicleta de trial enumerades. El disseny i geometria del quadre es tractaran a l'apartat 4.



Imatge 21. Parts d'un quadre de bici de trial.

Font original: <https://www.comastrial.com/shop/es/inicio/201-cuadro-comas-1008r-20.html>

1. Tub superior

És la part superior del quadre, en els quadres monocasc aquest tub és inexistent.

2. Tub de direcció

En aquest tub s'hi acobla la forquilla i els rodaments de direcció, que són l'articulació sobre la qual gira el sistema de direcció.

3. "Reach" o tub principal

Uneix el tub de direcció amb la caixa del pedaler. És el tub més resistent del quadre i el que principalment en determina l'estètica.

4. Caixa del pedaler

Conté l'eix del pedaler i fa d'unió dels tubs principal i superior amb les beines i tirants.

5. Beines

Són l'element d'unió de la caixa del pedaler amb la boixa de la roda del darrere.

6. Tirants

Uneixen el tub superior amb la boixa de la roda posterior, convergint amb les beines en aquest punt. En els quadres monocasc els tirants sovint desapareixen comptant amb unes beines més reforçades.

3.5. EVOLUCIÓ DE LA BICICLETA DE TRIAL

En aquest apartat es pretén donar una petita visió general ordenada en el temps de l'evolució i innovació de les bicicletes de trial i/o tota la tecnologia de components que les caracteritzen a mà de l'empresa pionera en la seva fabricació i desenvolupament: Bicicletes Monty. (1)



1983
Primer conjunt de direcció sobredimensionat.



1985
Invenció i patent del fre "Monty power".



1988
Primera bici de trial amb frens de llanta hidràulics.



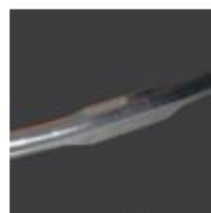
1988
Primera roda posterior sobredimensionada.



1990
Invenció del quadre tipus "Wishbone" per evitar flexió als tirant superiors.



1992
Primera bicicleta del món amb pinyó davanter.



1992
Primer manillar amb diàmetre 31,8mm, més rígid i lleuger.



1994
Primer pinyó amb doble guia de cadena per protegir-la dels impactes.



1995
Primer protector de cadena dentat.



1995
Primera bici amb tija de selló incorporada al quadre, més lleuger.



1998
Primera bicicleta del món sense selló.



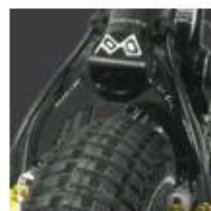
2003
Primera potència amb tap de direcció inclinat.



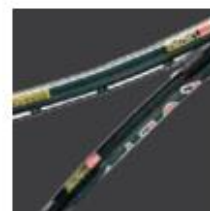
2003
Primera caixa forjada d'una sola peça.



2004
Invenció del "tope" de direcció interna SSS.



2004
Primer reforç integrat per a frens hidràulics.



2004
Primer quadre còncau, dissenyat per absorbir impactes.



2012
Primera quadre amb cadena pel seu interior.



2012
Primer quadre de trial complet en fibra de carboni.



2013
Primer quadre de trial monocasc d'alumini.



2016
Nou desenvolupament tècnic per a la fabricació de forquilles.

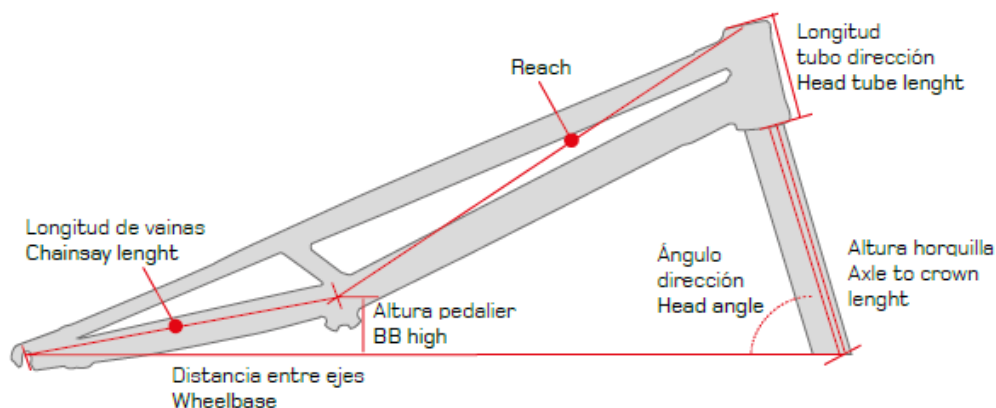
Imatge 22. Evolució i invents de Bicicletes Monty.

Font: <https://www.montybikes.com/PBCPPlayer.asp?ID=1917703>

4. DISSENY DEL QUADRE

4.1. GEOMETRÍA 2D

Els quadres per a bici de trial tots són basats en una geometria específica, definida per una sèrie de paràmetres que condicionen l'ergonomia i la talla de la bicicleta. A la imatge següent es pot apreciar una geometria model d'un quadre amb els paràmetres especificats.



Imatge 23. Geometria i paràmetres geomètrics d'un quadre de bici de trial.

Font: http://www.thierryklinkenberg.com/telechargement/CLEAN_2017_Catalogue.pdf

- Diàmetre de rodes

El paràmetre principal potser a l'hora de dimensionar una bici de trial és sens dubte el diàmetre de roda, ja que el quadre tindrà unes característiques diferents segons si és per una roda de 20" o per una de 26". Tot i ser un paràmetre extern al xassís, la mida de la roda condiciona la resta de paràmetres pròpiament del quadre.

- Distància entre eixos

La distància entre eixos és la mesura per excel·lència d'entre totes les variables geomètriques del quadre i es refereix a la distància entre els eixos de les dues rodes. Generalment, una distància entre eixos més llarga implica una superfície més estable per poder equilibrar la bicicleta, a més es fa més fàcil abastar les distàncies entre obstacles i realitzar certs moviments avançats. En canvi, una distància entre eixos més petita facilita al pilot aixecar la roda del davant i posar la bici sobre una roda i manejar-la en espais més reduïts.

Segons l'alçada i físic del pilot, resulta més còmode per als pilots alts una distància entre eixos més gran i més curta per als pilots més baixos.

- Alçada del pedaler

L'alçada del pedaler seria la coordenada vertical (distància Y) de la caixa del pedaler o eix del pedaler fins a la línia fictícia horitzontal entre els eixos de les rodes davantera i posterior. A les bicicletes de trial el pedaler queda per sobre d'aquesta línia, mentre que a les bicicletes convencionals normalment el trobem per sota. Això és degut a que l'alçada del pedaler modifica l'estabilitat de la bicicleta en certes situacions i/o posicions.

Si el pedaler queda per sota de la línia entre eixos, la bici és més estable a dues rodes, en canvi, un pedaler elevat significa que tindrem més estabilitat quan la bicicleta estigui recolzada únicament sobre la roda posterior.

- Distància del pedaler a l'eix posterior

La distància del pedaler a l'eix de la roda del darrere (coordenada horitzontal del pedaler) és un paràmetre decisiu en l'elecció de la geometria, ja que la situació horitzontal del pedaler, que a efectes pràctics és on es recolza el pilot, fa variar el centre de gravetat del mateix situant-lo més a prop o menys de l'eix posterior.

A la pràctica, es podria dir que com més endarrerit es trobi el centre de gravetat més còmode es farà mantenir la bicicleta a una roda.

- Angle de direcció

L'angle de direcció és l'angle que forma el tub de direcció amb el terra quan la bicicleta es troba recolzada amb ambdues rodes. Aquesta mesura normalment condiona o es veu condicionada per la distància entre eixos, un angle de direcció més pronunciat sol col·locar el pilot en una posició més agressiva a l'extrem davanter de la bicicleta i redueix distància entre eixos si es manté la longitud de "reach", de manera que no es modifica l'ergonomia de pilotatge i al reduir la distància entre eixos permet realitzar certs moviments amb més facilitat.

- Longitud de "Reach"

La mesura de la longitud de "reach" dóna una idea aproximada de com serà l'estructura principal del quadre independentment de la distància entre eixos, essent directa la proporció entre longitud i sensació de consistència del quadre.

Juntament amb la mida de la potència i el manillar, amb aquest paràmetre es pot intuir a grans trets la distància entre les mans i els peus del pilot a l'hora d'agafar la bicicleta.

La longitud de "reach" es considera una mesura geomètrica secundària i els fabricants no solen donar el valor d'aquesta mida.

- Longitud del tub de direcció

D'entre totes les variables geomètriques del quadre de la bici, la longitud del tub de direcció és sens dubte la més irrellevant. Tan sols és útil per a comprovar si són compatibles certes combinacions dels components que convergeixen en aquest tub: quadre, potència i forquilla. Per aquest motiu, alguns fabricants no consideren el seu valor rellevant per al disseny geomètric, sinó més aviat per a l'elecció de components.

- Longitud de beina

La longitud de beina està molt lligada i dona la mateixa informació que la distància del pedaler a l'eix posterior. Mesura la distància lineal directa de l'eix del pedaler a l'eix de la roda del darrere.

A part, esmentat també amb el paràmetre de distància del pedaler a l'eix superior, si la longitud de beina és més curta, s'endarrereix més el centre de gravetat del pilot, facilitant l'equilibri d'aquest quan es troba sobre una roda.

Al ser una variable estrictament lligada a la distància del pedaler a l'eix superior i degut a que se'n dona també informació de la coordenada vertical del pedaler, els fabricants solen donar informació únicament de la coordenada horitzontal referint-se tant a la distància del pedaler a l'eix posterior com a la longitud de beina.

4.1.1. ELECCIÓ DELS PARÀMETRES PER AL DISSENY.

Per a fer l'elecció dels paràmetres geomètrics a ser utilitzats en el disseny del quadre, s'ha fet un estudi de la geometria utilitzada a les bicicletes més competitives del mercat actual de les diferents marques líders en el sector.

Seguint les especificacions bàsiques del projecte, el "benchmarking" s'ha enfocat en bicicletes de 20" (diàmetre de roda) dissenyades per a pilots adults.

A continuació es mostra una taula comparativa amb els valors de les variables geomètriques corresponents als models escollits per a l'estudi. Les sigles corresponen a les següents mesures:

A = Distància entre eixos

B = Distància del pedaler a l'eix posterior

C = Altura del pedaler

D = Angle de direcció

E = Longitud de "reach"

F = Longitud del tub de direcció

Els paràmetre E i F són mesures geomètriques secundaries considerades de poca rellevància a l'hora d'escollir un quadre per a bicicleta de trial, és per això que molts fabricants no en donen el valor o l'obvien.

Tots els valors de la taula sense unitats especificades són en mil·límetres.

Taula 2. Comparativa de la geometria del quadre de diferents models de bicicleta. Valors en mm.

Model	Variables geomètriques					
	A	B	C	D	E	F
Monty M5 OS	1010	349	85	71'5°	-	110
Clean K1	1005	350	87	72°	605	120
Comas 1008R1	1008	350	85	72°	-	120
Jitsie Varial Race	1010	350	80	71'5°	-	120
Ozonys Curve V9	1010	350	83	72°	-	125
Breeth PRO TI	1005	350	90	72°	-	125
Monty 219 Kaizen	1008	349	85	71'5°	-	110

Tal i com s'observa a la taula, les mesures de distància entre els eixos de les dues rodes per a una bicicleta de "talla adulta", dissenyada per a pilots adults, tenen gairebé sempre la mateixa mida, oscil·lant entre els 1005-1010 mm. La coordenada horitzontal del pedaler es manté en els 350 mm excepte en els models de la marca Monty, amb 349 mm. Els angles de direcció de tots els models inclosos en aquesta comparativa prenen valors de 71.5° o 72°, coincidint els angles més suaus amb les mides de distància entre eixos alta i alçada del pedaler baixa. On hi ha una mica més de contrast és en l'alçada del pedaler, des dels +80 mm de la Jitsie Varial Race fins als +90 de la Breeth PRO TI.

Tenint en compte els efectes de cadascun dels paràmetres descrits i els valors que prenen en les bicicletes més competitives, s'han escollit els valors finals per a modelar el quadre amb la intenció d'equilibrar els conceptes de comoditat i competitivitat de la bici.

A la taula següent veiem els valors que prenen les variables geomètriques finals per al disseny del quadre.

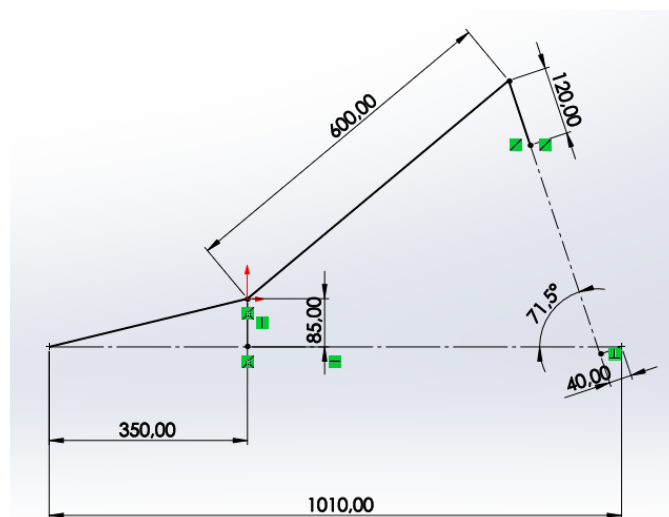
Taula 3. Variables geomètriques escollides per al disseny del quadre.

Paràmetre geomètric	Valor
Diàmetre de roda	20"
Distància entre eixos	1010 mm
Distància del pedaler a l'eix posterior	350 mm
Alçada del pedaler	85 mm
Longitud de beina	360 mm
Angle de direcció	71.5 °
Longitud del tub de direcció	120 mm
Longitud de "reach"	600 mm

Per a lligar tots els paràmetres i deixar la geometria ben definida calia determinar quina forquilla o quin tipus de forquilla s'acoblaria a la bici, ja que la gran majoria tenen una petita curvatura que produeix un "offset" entre l'eix davanter i l'angle de direcció.

Per comoditat, el disseny de la geometria ha estat basat en les mides d'una forquilla de les més normalitzades del mercat, compatible amb la gran majoria de xassís i components, de 370 mm d'alçada, uns 180 mm de tub de direcció i aproximadament 40 mm d'offset.

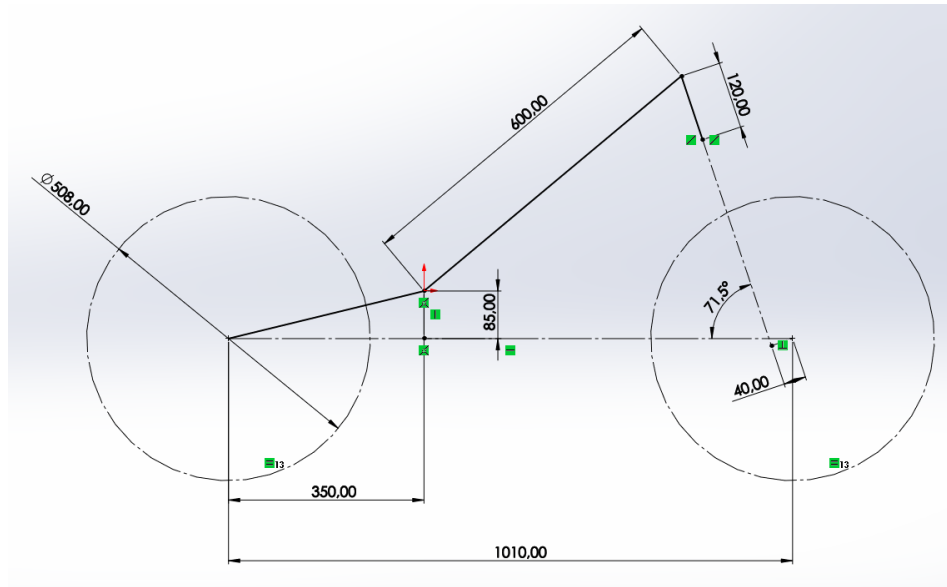
Ja que el disseny i modelat 3D del quadre es farà amb el software de dibuix assistit per ordinador SolidWorks, el croquis de la geometria 2D amb els paràmetres esmentats també s'ha dibuixat amb el programa, ja que així pot servir de guia a l'hora de modelar.



Imatge 24. Plantejament de la geometria 2D del quadre amb SolidWorks.

Font pròpia.

Sobre aquest mateix plantejament, afegint-hi les rodes de 20", equivalents a 508 mil·límetres de diàmetre, es poden verificar els valors de les variables geomètriques escollides veient que no hi ha interferències entre aquestes i els components que formaran el quadre.



Imatge 25. Detall de la geometria 2D amb les rodes croquisades.

Font pròpia.

4.2. SIMULACIÓ DE MODELAT 3D

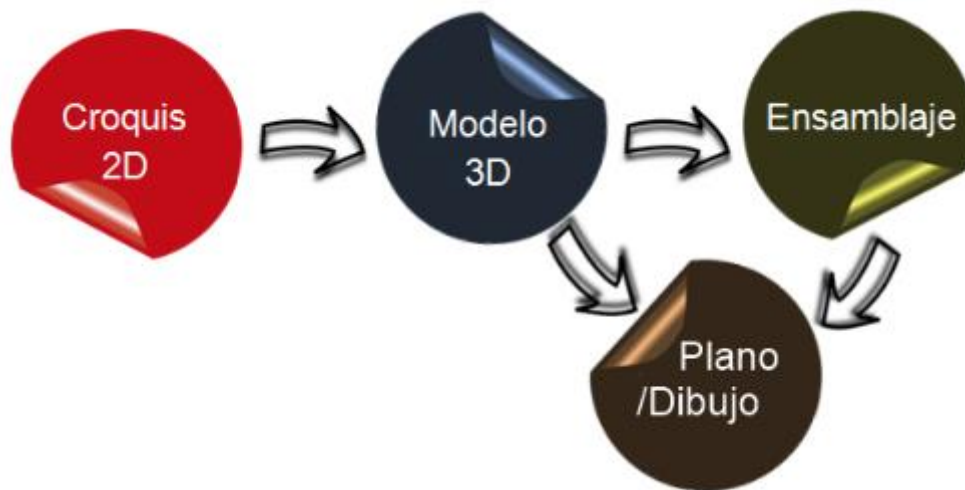
Com ja s'ha mencionat múltiples vegades all llarg d'aquest document, la simulació de modelat 3D del disseny del quadre objecte del projecte final de grau, es realitzarà amb el software SolidWorks, a continuació es procedeix a explicar per sobre en què consisteix aquest programa.

SolidWorks és un software CAD paramètric de disseny mecànic en 3D, que utilitzant un entorn gràfic basat en Microsoft Windows, permet de manera intuïtiva, dinàmica i ordenada, modelar peces i assemblatges en 3D i plànols en 2D. En definitiva, aquest software ofereix un ampli ventall de solucions per a cobrir les necessitats del procés de desenvolupament de producte amb una implantació molt diversa en els diferents sectors del món industrial i els seus productes permeten crear, dissenyar, simular, fabricar, publicar i gestionar totes les dades d'aquest procés.

Concretament, d'entre la multitud de softwares de disseny assistit per ordinador, SolidWorks destaca gràcies a tenir una interfície molt intuïtiva i senzilla que alhora inclou un munt d'eines per a abastar la totalitat del procés de desenvolupament del producte, un altre dels aspectes més destacats d'aquest software és que es

tracta d'un programa basat en el modelat paramètric, fet que redueix de manera significativa l'esforç necessari per a modificar o crear noves variants del disseny en qüestió, ja que les cotes, relacions i paràmetres usats en les diferents operacions de modelatge s'emmagatzemen en el mateix disseny.

El procés de disseny consisteix en tres o quatre fases depenent de si es tracta del desenvolupament d'una sola peça o bé d'un mecanisme conformat per un conjunt de peces. La primera fase sempre consisteix en el croquisat 2D, sobre el qual es crea el model 3D i es conforma la peça (fase 2). Si es tracta d'un mecanisme, el següent pas és l'assemblatge de les peces que el conformen i finalment, l'última fase és l'elaboració del/s plànol/s de la peça o mecanisme dissenyats per a fer-ne possible la fabricació, muntatge o interpretació.



Imatge 26. Procés de disseny amb SolidWorks.

Font: <https://www.adrformacion.com/knowledge/ingenieria-y-proyectos/ que es solidworks .html>

A més del mòdul de disseny mecànic CAD 3D, el software compta amb d'altres mòduls que completen la cadena de valor del producte: SolidWorks Simulation és el mòdul d'anàlisi, càlcul i validació dels dissenys creats (aquest mòdul s'ha emprat també en aquest projecte per al càlcul estructural del quadre). SolidWorks Electrical és el mòdul que permet integrar informació elèctrica des de les primeres fases de desenvolupament del producte. SolidWorks PCB és el mòdul de disseny electrònic i està totalment enllaçat al mòdul de CAD. Per últim, trobem un seguit de mòduls que ajuden a l'usuari amb la comunicació tècnica i gestió de dades distribuïdes.

Així doncs, tant per totes les prestacions i avantatges que presenta aquest software, així com per l'experiència personal en l'ús del mateix adquirida durant el primer any de carrera i durant els tres anys d'experiència professional acumulats, s'ha decidit escollir el SolidWorks com a software de disseny i validació del quadre.

4.2.1. COMPONENTS ALS QUALS S'HA D'ADAPTAR EL DISSENY

El disseny del xassís està pensat per a brindar comoditat al pilot i al mateix temps ser un model competitiu i estar a l'altura de les bicicletes usades actualment per a l'esport de competició.

Aquest disseny ha de constar doncs, d'una geometria adient i un conformat en 3D que assegurí bones propietats mecàniques. Ara bé, per a fer el disseny, s'han de tenir en compte els components que aniran acoblats al quadre, per tal de fer-los compatibles. Per a aquest cas concret, s'han seleccionat components de les marques més reconegudes en el món del trial en bicicleta i amb les mides més normalitzades per tal que el quadre a dissenyar tingui compatibilitat amb la majoria de components del mercat ja que no es tracta d'un quadre pertanyent a alguna sèrie en concret sinó un disseny nou modelat amb les tècniques modernes de disseny.

A continuació s'enumeren els components seleccionats amb els quals interacciona el quadre i per tant, als quals s'ha d'adaptar el disseny.

- **Forquilla**

Forquilla Comas R370 Disc, forquilla per a bici de trial de 20" per fre de disc hidràulic amb tub de direcció cònica de 1 1/8" a 1.5".

Fabricada amb alumini 6082-T6 i espessors optimitzats per a millorar la resistència. Té una longitud de 370 mm amb tub de direcció de 180 mm, offset de 40 mm i amplada útil de 100 mm. Pesa 748 g.

- **Direcció**

S'ha escollit una direcció integrada amb cassoletes normalitzades per a tubs de direcció tipus "tapered", és a dir, amb conicitat 1 1/8" a 1.5".

Direcció Clean Tapered X2 Superlight 1 1/8"-1.5", fabricada amb alumini 7075-T6. Cassoleta superior i inferior de 44 i 56mm de diàmetre exterior respectivament. Rodament superior 41x30x6'5 mm i rodament inferior 52x40x7 mm (diàmetre exterior x diàmetre interior x alçada). Pesa 102 g.

- **Eix del pedaler**

Eix del pedaler Clean Press Fit BB30 3P. Es tracta d'un pedaler amb bieles integrades amb el sistema PressFit, és a dir, en comptes d'estar roscat a la caixa del pedaler, hi entra a pressió, de manera que s'evita el mecanitzat de la rosca al quadre. Té una amplada de cos de 68 mm (estàndard) i diàmetre exterior de les cassoletes de 46 mm. Fabricat amb alumini 7075-T6 d'alta qualitat. Pes de 228 g.

- **Boixa i eix posteriors**

Boixa posterior Jitsie Race 116DISC 32H. Mecanitzat amb CNC d'alumini 6061-T6 d'alta qualitat i eix buit d'alumini 7075-T6 de 10mm de diàmetre. Pesa 156 g.

Espaiat de 116 mm dissenyat per a la majoria de bicicletes de 20".

- **Tensor de cadena**

Tensor de cadena Clean tipus excèntrica compatible amb eixos de 10 mil·límetres, les punteres del quadre hauran de ser horitzontals.

- **Protector**

Per al disseny del quadre es considerarà l'ús de protectors tipus "ring" muntats a l'eix del pedaler, de manera que no afecta al disseny.

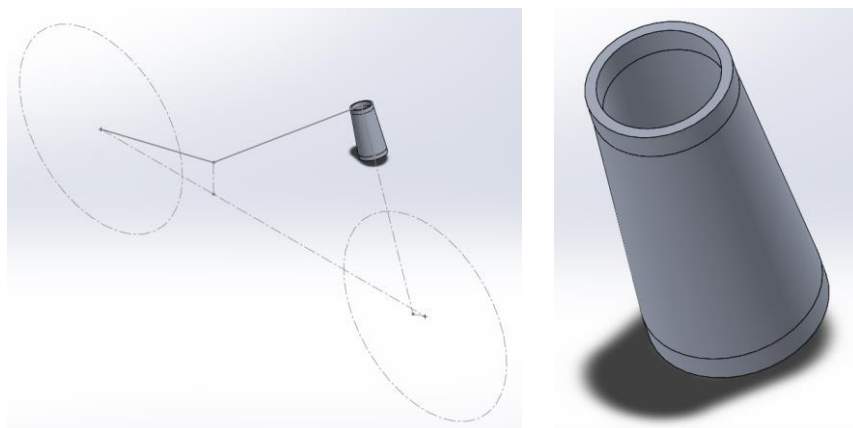
- **Fre posterior**

Qualsevol fre de disc IS estàndard de 6 cargols compatible amb la boixa escollida.

4.2.2. PROCÉS DE MODELAT 3D

És important a l'hora de començar el disseny tenir sempre present la geometria estudiada i que serà la base per a l'elecció dels diferents perfils i seccions que conformaran el quadre monocasc. És per aquest motiu doncs, que el modelat 3D s'ha sobre el mateix arxiu on es va dibuixar la geometria, fet que permet en tot moment comprovar la compatibilitat del disseny amb la geometria, sobretot perquè no interfereixi amb les rodes.

Primerament, es va començar a modelar el tub de direcció, el component del quadre del qual es tenia més clar el disseny, un tub cònic amb mides estàndards per a acoblar-hi direccions semi-integrades de 1 1/8" – 1.5".

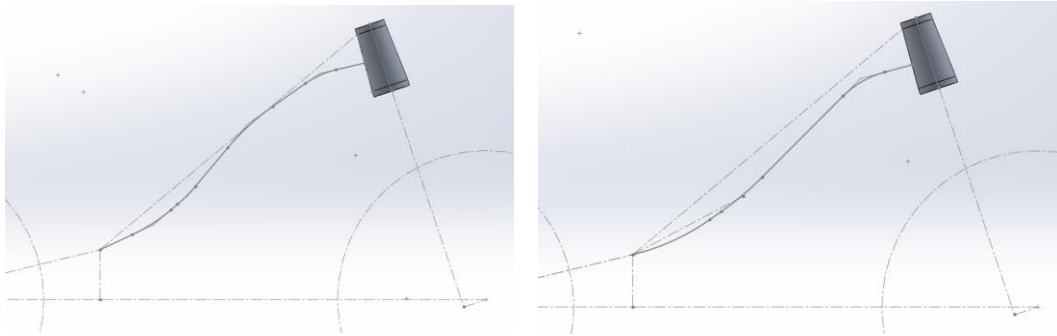


Imatge 27. Vista i detall del tub de direcció.

Font pròpia.

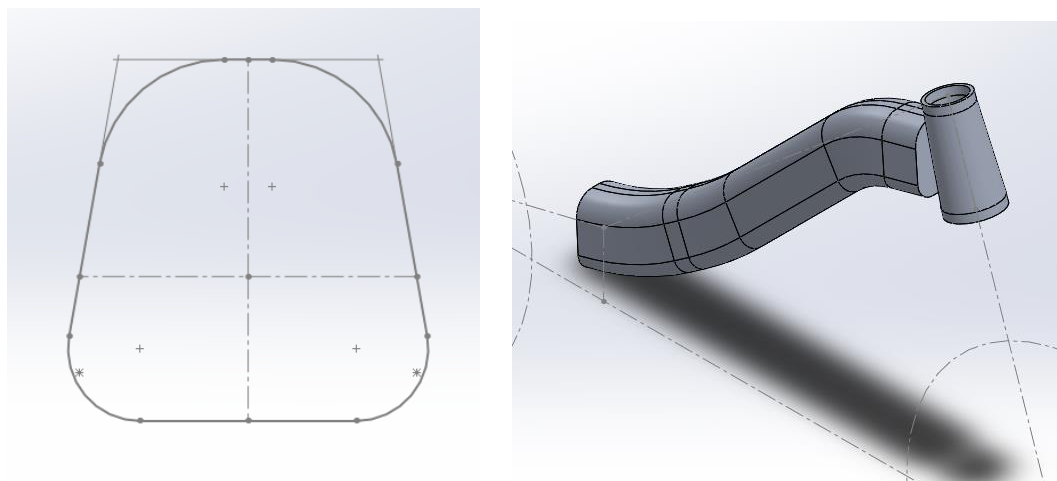
Seguidament, al tractar-se d'un quadre monobloc o monocasc, fabricat d'una sola peça, s'han anat modelant la resta del quadre sobre els elements ja definits.

Per a fer el disseny del tub principal, o tub de "reach", es van estudiar dues possibles trajectòries i la secció del perfil, que és el que li dona consistència i rigidesa. A continuació és mostren les opcions estudiades i la confecció final del tub.



Imatge 28. Croquis de les opcions de trajectòria del tub principal. A la dreta el perfil escollit.

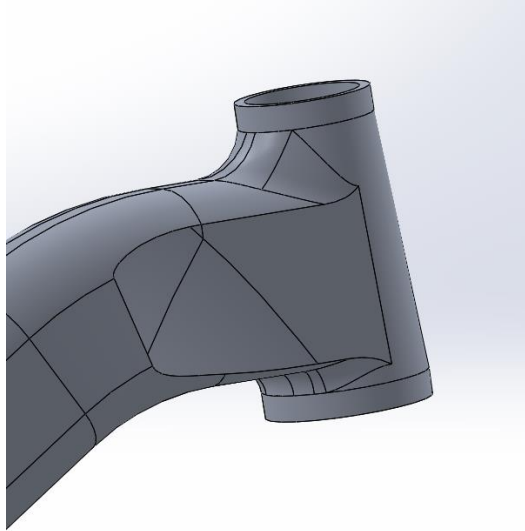
Font pròpia.



Imatge 29. Perfil de secció i modelat del tub principal.

Font pròpia.

Tal i com es pot apreciar a la imatge superior dreta del modelat del tub principal, el detall de la unió amb el tub de direcció no era del tot acurat, després d'unes quantes operacions amb el programa és va aconseguir suavitzar la unió de manera que el repartiment de tensions en aquest punt sigui adequat.

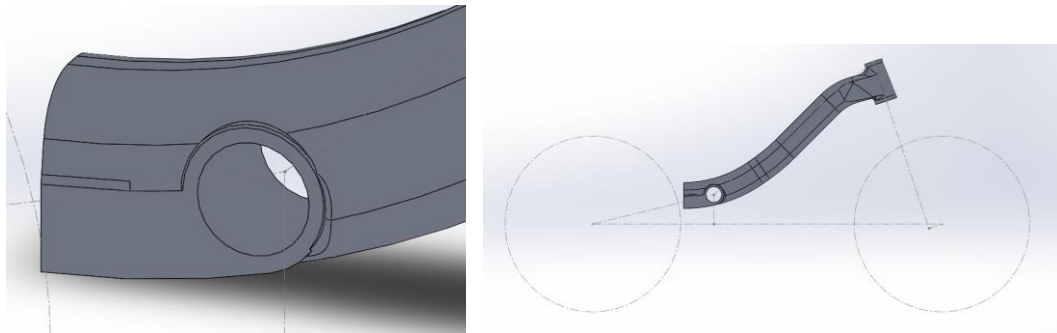


Imatge 30. Detall de la unió dels tubs principal i de direcció.

Font pròpia.

El següent pas era la confecció de la zona de la caixa del pedaler, amb les mides adequades per a incorporar un eix del pedaler de 68 mil·límetres d'amplada amb sistema PressFit.

S'ha de tenir en compte que els detalls que requereixen més precisió com és aquest cas, es mecanitzen amb CNC.

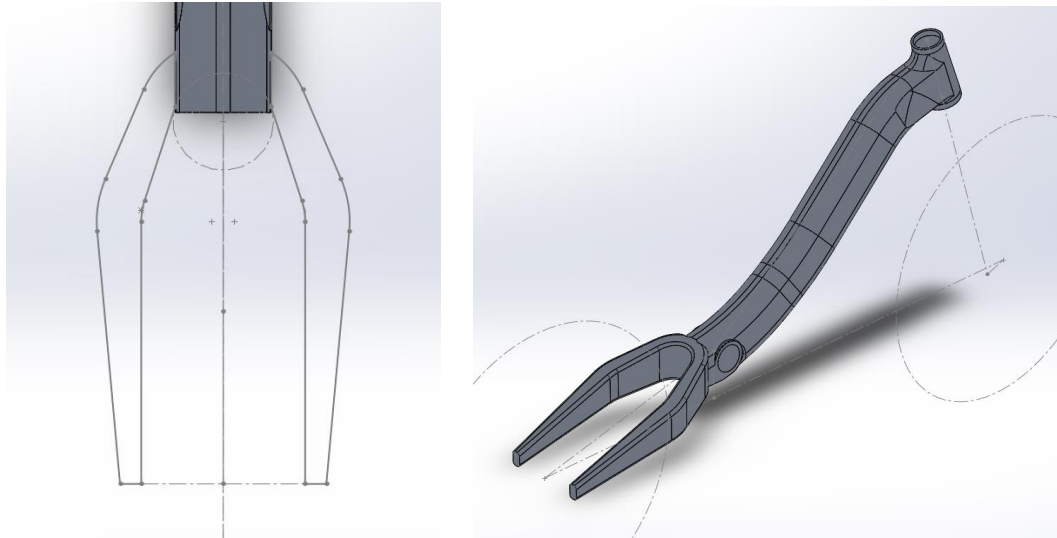


Imatge 31. Detall de la caixa del pedaler i vista general del modelatge fins al moment.

Font pròpia.

El següent pas era el disseny de les beines. Al tractar-se d'un quadre monocasc, el disseny d'aquest model no contempla els tirants i per tant, les beines han de ser prou resistents i/o més reforçades.

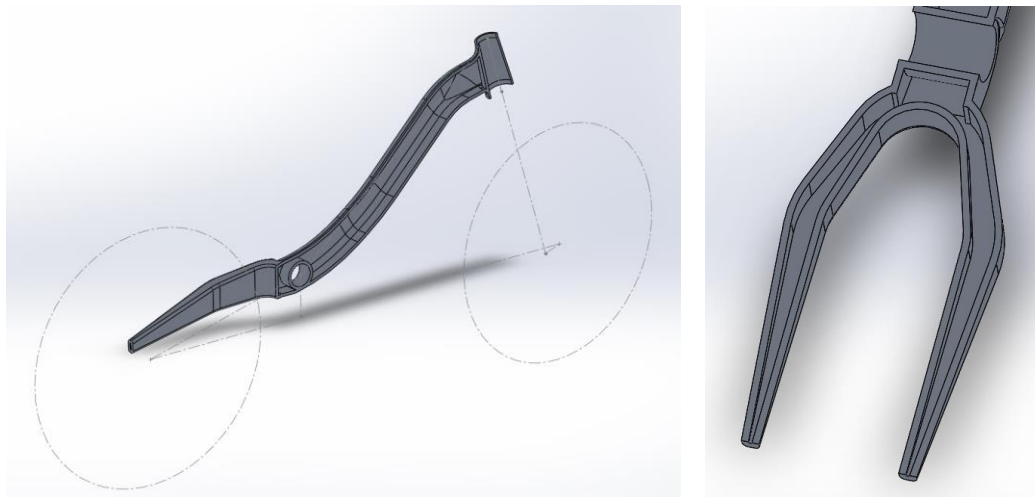
Per al seu disseny, es va crear un croquis per tal de definir el perfil exterior a seguir i amb algunes operacions de més es va treballar la unió de les beines amb el quadre i la forma final que prenen les beines..



Imatge 32. Croquis del perfil exterior de les beines i vista global de la unió amb el quadre.

Font pròpia.

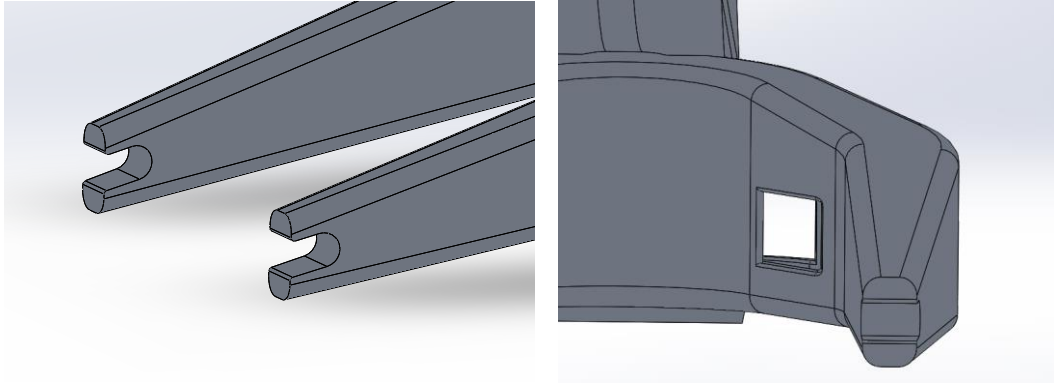
Fins al moment, s'ha treballat amb sòlids massissos tot i que conceptualment el disseny era pensat per a tubs, per fer el quadre més lleuger. Amb les beines dissenyades, la totalitat de components del quadre ja estan inclosos, només en queda realitzar algun detall. En aquest moment, mitjançant la operació de “vaciado” del SolidWorks, s'ha donat espessor als tubs del conjunt.



Imatge 33. Vistes de secció del quadre on s'aprecia l'espessor del disseny.

Font pròpia.

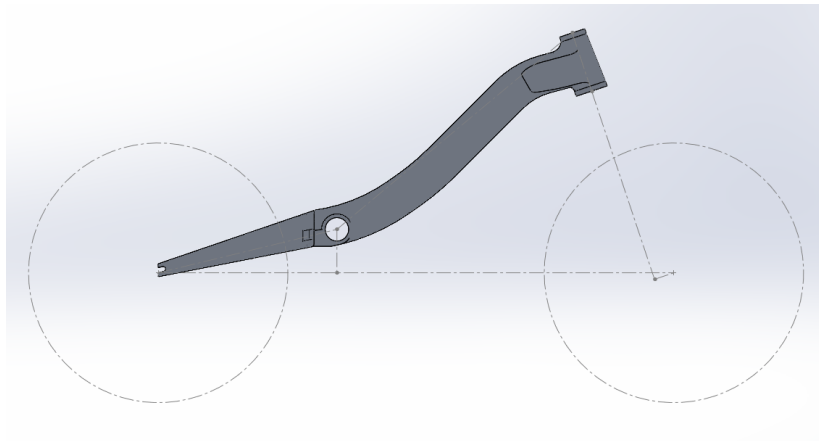
Per últim, queda modelar el mecanitzat de les punteres de les bieles, per on s'agafa el quadre a la caixa posterior, i el forat per a la cadena a la biela dreta, doncs al tractar-se d'un quadre de bici de trial monocasc amb absència de tirants, la beina dreta interseca amb la trajectòria de la cadena i per a solucionar-se es fa passar la mateixa per l'interior del quadre.



Imatge 34. Detall de les punteres i del forat de la cadena.

Font pròpia.

Així doncs, el disseny final del quadre per a la bicicleta de trial queda de la següent manera:



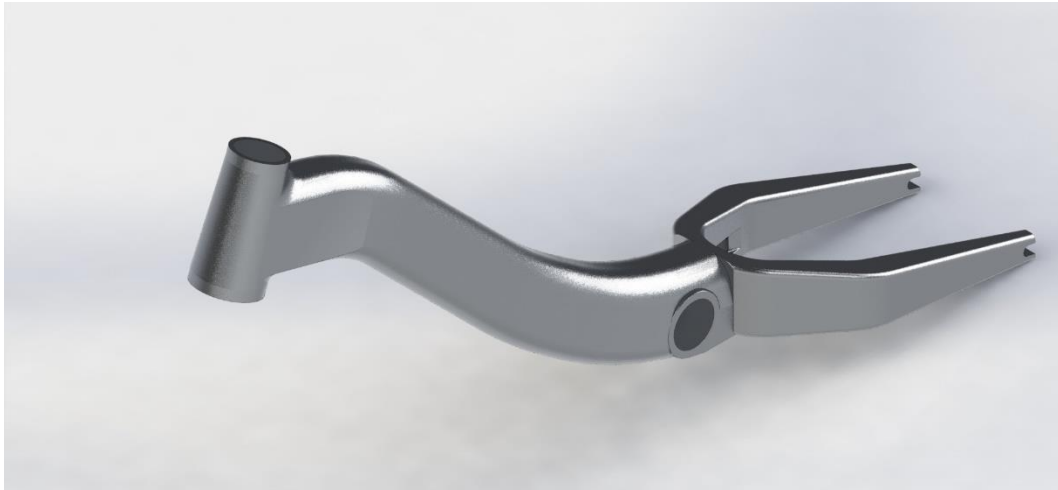
Imatge 35. Vista en alçat del quadre amb el croquis geomètric conceptual.

Font pròpia.



Imatge 36. Renderitzat del quadre amb aliatge d'alumini 6061-T6 (vista isomètrica).

Font pròpia.



Imatge 37. Renderitzat del quadre amb aliatge d'alumini 6061-T6 (vista isomètrica dreta).

Font pròpia



Imatge 38. Renderitzat del quadre amb aliatge d'alumini 6061-T6 (vista isomètrica posterior).

Font pròpia.

5. SELECCIÓ DE MATERIALS

En aquest apartat es farà un estudi dels materials més utilitzats actualment per a la fabricació dels quadres de bicicleta de trial, exposant-ne les seves propietats físiques, característiques i alguns dels avantatges que presenta cada material respecte als altres.

5.1. PROPIETATS FÍSQUES DELS MATERIALS

El material de confecció del xassís ha de reunir una sèrie de característiques i propietats físiques determinades que s'ajustin, juntament amb el disseny, a les necessitats del trial i als aspectes desitjats de l'usuari final o el comprador.

Les propietats físiques i/o mecàniques estudiades són les següents:

- Densitat

La densitat és la propietat dels materials que indica la massa d'aquests per unitat de volum, és a dir, la densitat del material serà la que, juntament amb el volum del disseny del quadre, en condicionarà el pes.

Per tant, interessa un material poc dens, que a igualtat de volum presenti més lleugeresa que d'altres.

- Rigidesa

La rigidesa d'un material va estrictament lligada a una altra propietat intrínseca del mateix, el mòdul elàstic o mòdul de Young (E) i es defineix com la resistència que ofereix un cos elàstic a ser deformat per l'acció d'una força aplicada.

El mòdul de Young és calcula amb la relació tensió/deformació en la regió elàstica del material:

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \frac{F/A_0}{\Delta L/L_0}$$

Equació 1. Mòdul de Young

On F és la força aplicada, A_0 és l'àrea de la secció on s'aplica aquesta força, L_0 la longitud original del cos i ΔL l'increment de longitud que experimenta.

- Resistència

La resistència d'un material és la capacitat d'aguantar una tensió aplicada sense fallar. Les forces aplicades induiran tensions dins el material que provocaran deformació. La resistència ens indica la càrrega màxima que pot suportar el

material en qüestió sense provocar una deformació permanent, és a dir, abans d'entrar a la regió plàstica. Aquesta propietat està establerta pel límit elàstic.

- **Ductilitat**

És la propietat físico-mecànica dels materials que defineix la capacitat que té aquest de deformar-se plàsticament. A diferència de la rigidesa i resistència, la ductilitat opera en règim de deformació plàstica, és a dir, indica la capacitat d'un material d'absorbir deformacions permanents sense trencar-se sota l'acció d'una força aplicada.

- **Tenacitat**

La tenacitat és la capacitat d'un material per absorbir energia i deformar-se plàsticament abans de fallar. Ha de presentar un equilibri entre resistència i ductilitat, doncs un material tenaç és aquell capaç d'absorbir molta energia cinètica i transformar-la en deformació plàstica o elàstica evitant la fractura.

- **Vida a fatiga**

Les propietats mecàniques de la fatiga dels materials: resistència a fatiga, vida a fatiga i límit de fatiga, fan referència al comportament del material al ser exposat a càrregues i tensions dinàmiques cícliques o fluctuants inferiors a la resistència màxima.

Aquestes càrregues poden ser implícites a les irregularitats del terreny, els canvis de temperatura i el pedaleig del pilot entre d'altres.

A banda de les propietats del material emprat en la fabricació del quadre, cal destacar que el disseny hi juga un paper molt important, ja que el volum serà el condicionant del pes total, la secció dels tubs en determina la rigidesa i l'espessor afecta directament a la resistència, així com altres aspectes menors poden variar algunes de les característiques del quadre independentment dels materials.

5.2. ACER

L'acer és el material més antic dels emprats per a la fabricació de quadres de bicicleta gràcies a la facilitat a l'hora de treballar-lo i al baix cost que comporta. Es tracta d'un aliatge de ferro i carboni, que a més pot contenir altres elements aliants. A part del ferro, el carboni és sempre l'element principal de l'aliatge i en modifica les propietats mecàniques molt notablement, doncs com més carboni contingui, més dur i resistent serà l'acer, però es torna més fràgil i menys dúctil. És per això que per aconseguir un acer més equilibrat es recorre a altres elements aliants.

En la fabricació de quadres de bicicleta, l'acer més utilitzat és l'anomenat Cromoly (acer al crom-molibdè), també conegut com acer 4130. És un material que nominalment presenta una gran resistència a fractura i una rigidesa alta així com bona vida a fatiga, però té dos inconvenients molt destacats: és un aliatge metàl·lic molt vulnerable a la corrosió (pel ferro) i és de densitat elevada, els quadres fabricats amb aquest material són els més pesats.

En el trial, l'acer està pràcticament en desús, ja que el pes és un factor decisiu i és precisament, un dels punts febles d'aquest material.

5.3. ALUMINI

L'arribada de l'alumini al mercat dels quadres de bicicleta va suposar una revolució a la indústria, ja que és un metall que gràcies a la mal·leabilitat que presenta, permet treballar unes formes més dinàmiques que l'acer i experimentar amb noves geometries.

L'alumini es caracteritza per la relació resistència/pes, és més lleuger i és resistent a la corrosió que l'acer i, tot i ser menys resistent mecànicament, permet la confecció de quadres menys pesats i gràcies als aliatges, amb bons valors de resistència augmentant lleugerament l'espessor dels tubs.

Com que l'alumini per si sol es massa tou, en la indústria del ciclisme sempre es treballa amb els seus aliatges, que permeten equilibrar la relació resistència/pes. Els aliatges més comuns per a la fabricació de quadres són de les series 6000 i 7000, en concret, l'alumini 6061-T6 (conté magnesi i silici i és sotmès a un procés de tractament tèrmic T6) i l'alumini 7005-T6 (aliatge principalment amb zinc i sovint acompanyat de tractament tèrmic T6) que destaca pel fet que es pot soldar. En ambdós casos cal destacar l'ús dels tractaments tèrmics per a millorar les propietats mecàniques de l'aliatge i ajustar-lo més adequadament a l'aplicació, el tractament tèrmic T6 consta d'un procés de solució, tremp i maduració artificial.

En general, l'alumini és un material fàcil de treballar i que presenta un equilibri en totes les propietats físico-mecàniques interessants per a un quadre de bici de trial. És per això que és, sens dubte, el més utilitzat en el sector, tot i que cada vegada més els quadres fabricats amb fibra de carboni guanyen terreny en el mercat.

5.4. TITANI

El titani és un metall amb unes propietats mecàniques molt bones, destaca sobretot per la baixa densitat i gran resistència a la fatiga i a la corrosió, presentant també bona resistència i rigidesa.

En quant a propietats, el titani gairebé és el material més adient, però el que el situa fora del mercat competitiu és el seu cost de fabricació, des de l'extracció del metall fins a la confecció final. El titani és un metall molt dur i molt complicat de mecanitzar (ja que es necessita maquinària especial per a perforar-lo) i necessita temperatures de soldadura molt elevades i el procés de soldadura s'ha de realitzar en condicions de buit. A més, per a igualar els nivells de rigidesa dels quadres d'alumini o d'acer s'han de confeccionar tubs més gruixuts.

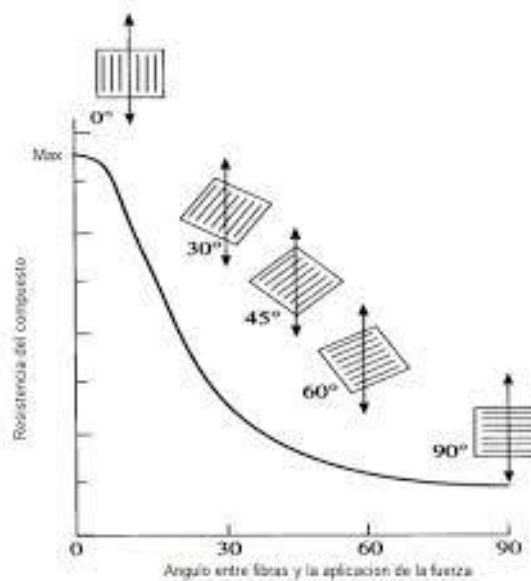
Malgrat les propietats del material, els quadres de bicicleta de trial fabricats amb titani no són fàcils de trobar, i molt menys barats. Tanmateix, les marques que el treballen, guanyen en exclusivitat, doncs el procés de confecció sol ser força manual i fet a mida, i asseguren un resultat per tota la vida.

5.5. FIBRA DE CARBONI

La fibra de carboni, a diferència dels metalls, és una fibra sintètica que es pot fabricar sota especificacions molt concretes, ja que durant la confecció del "composite" és van superposant capes de fibres en diferents direccions per a aconseguir una resistència multidireccional unint-se aquestes amb capes de resina epoxi, una resina termo-estable que actua de matriu i transfereix les càrregues per tot el material.

La fibra de carboni és un material molt lleuger, amb bona resistència mecànica i rigidesa així com resistent a la corrosió. El seu límit elàstic és molt proper a la càrrega de ruptura, fet que implica que davant càrregues inferiors tingui una gran capacitat d'absorció però sigui un material molt fràgil.

A diferència dels metalls (materials isòtrops), la fibra de carboni té un comportament anisòtrop, és a dir, les propietats mecàniques depenen de la orientació de l'esforç al qual està sotmès. Quan la càrrega aplicada és paral·lela a la direcció de les fibres, el material és més resistent que quan aquesta força s'aplica perpendicularment.



Imatge 39. Efecte de l'orientació de les fibres sobre la resistència del compost.

Font: <http://eprints.uanl.mx/4165/1/1080253846.pdf>

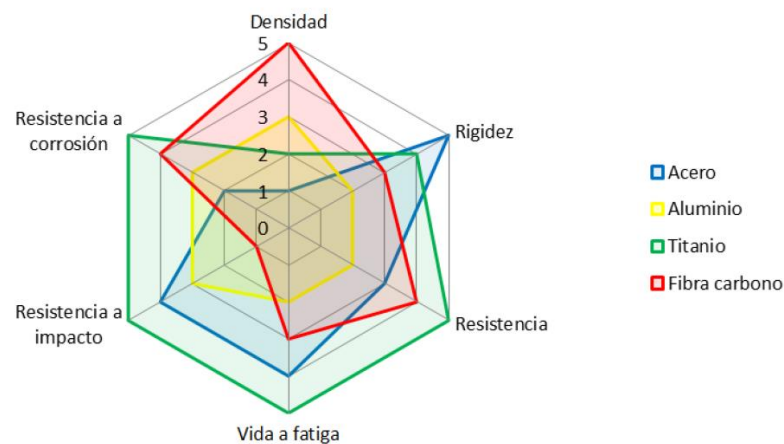
Els quadres fabricats amb fibra de carboni, poden presentar geometries i formes més orgàniques, i amb aquest material el més comú és trobar quadres monocasc en els quals es pot jugar inclús en l'espessor de cada tram.

Així doncs, la relació entre les propietats físiques i mecàniques de la fibra de carboni situen els quadres de bicicleta de trial fabricats amb aquest material a l'àmbit de competició, malgrat tenir les propietats més desitjades per a la pràctica del trial, el preu que comporta la seva fabricació encara s'escapa de les mans dels aficionats a l'esport.

5.6. COMPARATIVA

Tenint en compte les propietats de cada material dels esmentats anteriorment i les propietats més interessants per a la pràctica del trial, així com analitzant els materials dels quadres de bicicleta de trial que hi ha actualment al mercat, s'han extret conclusions per a la selecció del material en aquest treball final de grau.

Si es pondera del 1 al 5 cada propietat per a cada material, essent un 1 el valor menys desitjat i un 5 el que més, podem realitzar una gràfica tipus radial, que a més de donar-nos una idea de quin material és més adequat per a una propietat concreta, també permet valorar l'equilibri entre totes les propietats, veient quin material és el més polivalent.



Gràfic 1. Comparativa de les propietats físico-mecàniques dels materials estudiats.

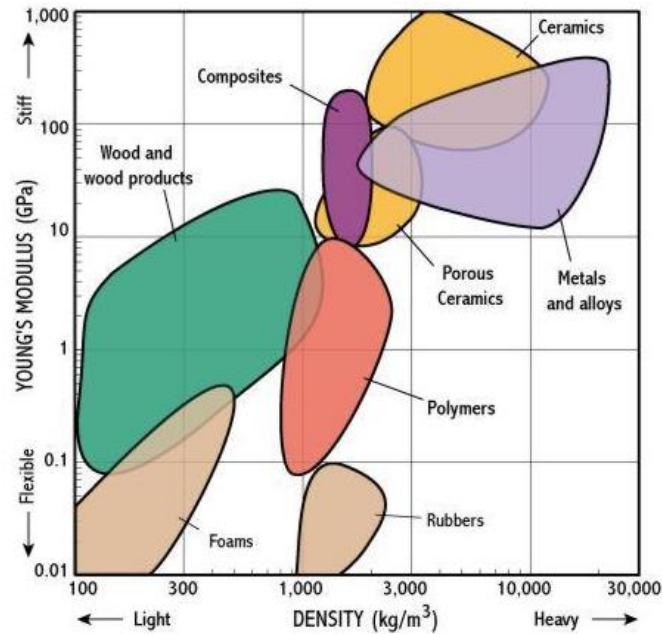
Font: (2)

Tal i com s'observa a la gràfica, el titani és el material que presenta millors propietats físiques tal i com s'ha esmentat a l'explicació del mateix, però queda descartat per a la fabricació de quadres de bicicleta de trial per el preu desmesurat que comporta. Contrastant amb els models de bicicleta del mercat actual, no en destaca cap amb el quadre fabricat amb aquest material, tan sols és emprat per a la fabricació de components més petits.

L'acer quedaria descartat a primeres, perquè tot i presentar la millor rigidesa, és el material més pesat i la vulnerabilitat a la corrosió el deixen fora de joc.

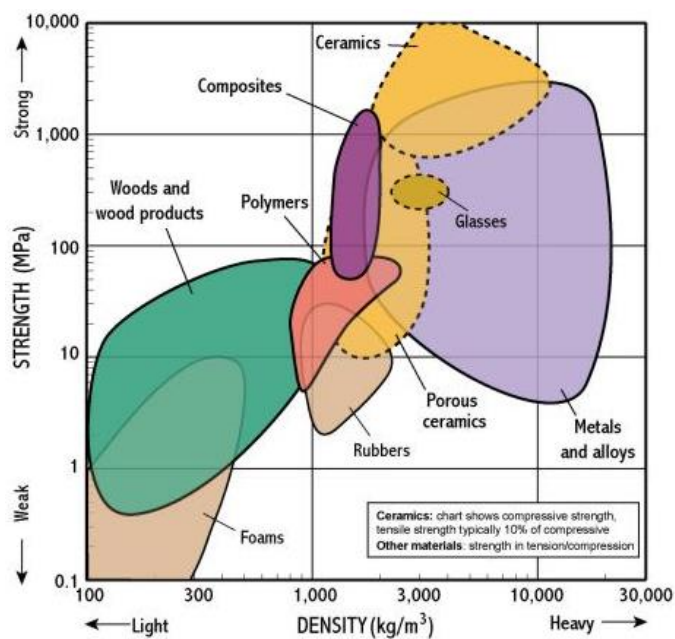
Entre la fibra de carboni i l'alumini caldria discutir-ne l'ús que se li donaria al quadre i a la bicicleta dins del món del trial. Es pot observar com la fibra de carboni té, en general, millors propietats mecàniques tot i ser el més dèbil contra impactes, fet pel qual no s'ha quedat encara amb el monopoli del trial, doncs és un dels aspectes principals el tenir un quadre resistent contra els múltiples xocs que és donen a la pràctica d'aquest esport. Per altra banda, l'alumini destaca per l'equilibri de totes les propietats, es podria dir que tot i ser superat per altres materials en algun aspecte, encara falta desenvolupament tecnològic en altres materials per a superar l'alumini en el conjunt global de les propietats i la fiabilitat que dona.

Amb l'ajuda de gràfics interactius (3) que situen els grups de materials en funció de diferents paràmetres es corrobora que els més adequats per a utilitzar en el disseny del quadre de la bicicleta de trial són els metalls (alumini) i els "composites" (fibra de carboni).



Gràfic 2. Relació entre elasticitat i densitat.

Font: http://www-materials.eng.cam.ac.uk/mpsite/interactive_charts/stiffness-density/NS6Chart.html



Gràfic 3. Relació entre resistència i densitat.

Font: http://www-materials.eng.cam.ac.uk/mpsite/interactive_charts/strength-density/NS6Chart.html

Per concloure amb la decisió del material per a la fabricació del quadre dissenyat en aquest treball, cal valorar algun aspecte més.

Fins al moment els materials candidats més adients són l'alumini 6061-T6 i la fibra de carboni. Al tractar-se d'un disseny monocasc, es podria considerar que l'opció

de l'alumini queda descartada, però amb la tecnologia actual, ja hi ha algun model de quadre monobloc conformat amb alumini, com per exemple el model Monty 221k Nordic.

Així doncs, l'elecció del material es faria dependent del "target" de mercat que es volgués aconseguir: per abastar el màxim de possibles compradors, el quadre es fabricaria en alumini, ja que presentaria unes propietats mecàniques perfectament acceptables per a la pràctica del trial i el cost seria notablement més barat comparat amb la confecció del quadre feta amb fibra de carboni, que estaria enfocada al sector del mercat del cim de la competició.

Per a raons de software de càlcul, en aquest treball finalment s'utilitzarà l'alumini 6061-T6, ja que és el material que presenta la millor relació qualitat/preu i al tractar-se d'un material isòtrop, el programa SolidWorks el caracteritza correctament i en permet un càlcul estructural acurat per el mètode d'elements finits. En canvi, per a la fibra de carboni, aquest software de disseny assistit per ordinador així com molts d'altres programes de CAD (Computer-Aided Design) habituals, només proporcionen l'aspecte físic del material però no el caracteritzen degudament per a fer-ne un estudi de tensions simulat amb veracitat.

Les propietats de l'aliatge d'alumini 6061-T6 més rellevants per a la seva caracterització al càlcul estructural són les següents:

Taula 4. Propietats i característiques de l'alumini 6061-T6.

Densitat (kg/m ³)	Tensió al límit elàstic (Mpa)	Tensió de ruptura (Mpa)	Mòdul de Young (Mpa)	Coeficient de Poisson
2700	276	310	68,9	0,33

Valors extrets de la pàgina MatWeb (4)

Amb el material seleccionat i el disseny proposat, el quadre té una massa total de 3'96 kg.

Pel que fa al mètode de conformació, en aquest treball no s'hi entra en detall, però s'ha contactat amb Miguel Liberal, product manager de Monty, que va ser la primera empresa a fabricar un quadre monocasc amb alumini, i m'ha facilitat la informació del mètode de fabricació del mateix: la tecnologia utilitzada és l'hidroconformat mitjançant motlles.

6. CÀLCUL ESTRUCTURAL

Per al càlcul estructural d'aquest Treball de Fi de Grau es realitzarà un estudi tensional del disseny del xassís de bici de trial proposat mitjançant simulacions CAE (Computer Aided Engineering) amb el programa SolidWorks basades en el mètode dels elements finits (MEF).

En concret, s'estudiarà l'estat de tensions i el comportament de l'estructura quan se sotmet a la força que exerceix el pilot quan aquest es troba estàtic sobre la bicicleta en els dos casos més típics que es donen en la pràctica del trial: recolzament sobre les dues rodes i recolzament sobre la roda posterior.

L'objectiu d'aquest càlcul simulat és poder extreure'n resultats i analitzar-los per tal de validar el disseny proposat per al quadre de la bicicleta i donar pas al prototipat del mateix per a realitzar-ne assajos reals més exhaustius en bancs de proves, o en el cas que fos necessari, redissenyar-lo i reforçar les zones més sol·licitades.

6.1. MÈTODE DELS ELEMENTS FINITS

El mètode dels elements finits (MEF) és una tècnica de càlcul per a l'enginyeria que s'utilitza per a resoldre numèricament problemes físics en geometries complicades. Aquest mètode consisteix en subdividir la geometria de la peça que està sotmesa a la càrrega de treball amb les respectives restriccions (graus de llibertat) en parts més petites anomenades elements, que representen el domini continu del problema complex. Aquests elements tractats un per un, permeten estudiar models senzills i de fàcil anàlisi que, tenint en compte les interrelacions entre ells s'aconsegueix una simulació molt ajustada del problema plantejat.

El que s'aconsegueix doncs, és poder resoldre un sistema d'infinítes variables substituint-les per un nombre finit d'elements ben definits. La divisió del domini de la geometria del problema es fa amb el que s'anomena *mall*a, que connecta cada element entre sí mitjançant la discretització per nodes.

Degut a les subdivisions de la geometria, les equacions matemàtiques que regeixen el comportament físic no es resolen de forma exacta sinó a través d'aproximacions amb aquest mètode numèric. Així doncs, com més densa sigui la malla i més nodes i elements hi hagi al model, més exacta serà l'aproximació que en resulta. És per això, que aquest mètode s'implementa de manera més efectiva mitjançant el càlcul computacional, que permet major potència de càlcul, discretitzacions més petites i més acurades i per tant major nombre d'equacions per a resoldre, que és el que garanteix una aproximació ajustada a la realitat.

Actualment, gran part els softwares de disseny assistit per ordinador (CAD) incorporen aquest mètode per a poder realitzar estudis de càlcul estructural i l'obtenció de tensions, deformacions i desplaçaments així com també poder representar diferents escenaris amb l'aplicació de criteris de resistència, rigidesa i fatiga o anàlisis tèrmics entre d'altres que, en general, reben el nom de CAE.

6.1.1. MALLAT

Com s'ha comentat anteriorment, el mallat del model a estudiar és sens dubte un dels elements més importants quan es tracta de realitzar simulacions amb el mètode dels elements finits, ja que l'error comès amb l'aproximació obtinguda com a resultat depèn en gran mesura de la discretització del model i del volum dels elements.

Sembla obvi doncs, que per a garantir un resultat fiable hem de crear un bon mallat. Interessa poder aconseguir dominis el més petits possible, és a dir, com més a prop es trobin els nodes l'un de l'altre, més petits seran els elements i més densa serà la malla, de manera que l'error comes en l'aproximació del resultat final serà mínim.

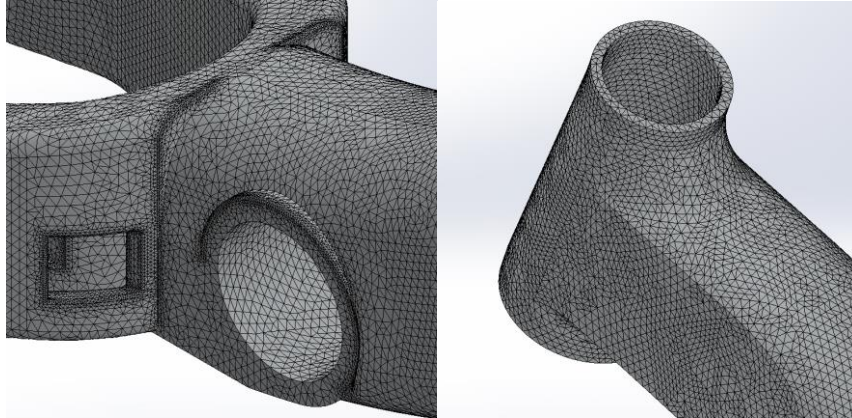
En aquest treball però, s'ha hagut de mallar el model amb la limitació del hardware informàtic utilitzat, ja que amb una malla més adequada el software arriba a saturar els recursos disponibles i l'ordinador no té potència de càlcul suficient per a solucionar la simulació plantejada.

Per a posar remei a aquesta limitació, s'ha simplificat suficientment la malla per a aconseguir una definició de la geometria del model força fina utilitzant una malla basada en la curvatura amb elements tetraèdrics de màxim 3 mm de costat, que permeten tenir una concentració d'elements decent en les zones que prèviament es pensa que hi pot haver major concentració de tensions i són susceptibles a ser les seccions més sol·licitades.



Imatge 40. Mallat del model 3D del quadre.

Font pròpia.



Imatge 41. Detall del mallat a les unions del tub principal amb les beines i el tub de direcció.

Font pròpia.

6.2. CONDICIONS I FORCES APLICADES

A l'hora d'escollir quins escenaris i quines condicions i esforços cal simular per tal de validar el disseny del xassís de la bicicleta de trial s'ha procedit a estudiar la normativa de la Unió Europea respectiva als requeriments de seguretat i mètodes d'assaig per a bicicletes, la norma *UNE-EN ISO 4210 "Requisitos de seguridad para bicicletas"* en concret la part referent als mètodes d'assaig per testar el quadre, *UNE-EN ISO 4210-6:2014 "Métodos de ensayo del cuadro y la horquilla"* (5). En aquesta norma però, s'especifica en el punt 1.Objecte i camp d'aplicació que en queden excloses certes tipologies de bicicletes:

"Esta parte de la Norma ISO 4210 no se aplica a los tipos especializados de bicicletas tales como bicicletas de reparto, bicicletas reclinadas, tandemes, bicicletas BMX y bicicletas diseñadas y equipadas para utilizarse en condiciones severas tales como eventos de competiciones oficiales, especialistas o maniobras acrobáticas."

NOTA: Para bicicletas con altura máxima de sillín de 435 mm o menor, véase la Norma ISO 8124-1, y con una altura mínima del sillín de más de 435 mm y menos de 635 mm, véase la norma ISO 8098." (6).

És clar doncs, que aquesta normativa no s'aplica a les bicicletes usades per a la pràctica del trial. En motiu d'això, s'han estudiat les altres normes vigents referents a les bicicletes per acrobàcies. La norma *UNE EN 16054 "Bicicletas BMX. Requisitos de Seguridad y métodos de ensayo"*, que data del 2013, s'aplica als tipus especialitzats de bicicleta dissenyats i equipats per activitats tals com figures acrobàtiques en el terra, especialistes i figures acrobàtiques, però en ella s'especifica també que tan sols s'aplica a les bicicletes BMX en les quals l'altura del selló es pot ajustar per donar una altura mínima de 435 mm. (7)

Les normes harmonitzades que fan referència als cicles de dues rodes (bicicletes) queden agrupades a continuació:

Taula 5. Normativa referent a les bicicletes.

BICICLETAS	
<i>UNE-EN ISO 4210-1:2014*</i>	Bicicletas - Requisitos de seguridad de las bicicletas – Parte1: Términos y definiciones
<i>UN- EN ISO 4210-2:2014*</i>	Bicicletas - Requisitos de seguridad de las bicicletas – Parte 2: Requisitos para bicicletas de paseo, cadete, de montaña y de carreras.
<i>UNE-EN ISO 4210-3:2014*</i>	Bicicletas - Requisitos de seguridad de las bicicletas – Parte 3: Métodos de ensayo comunes
<i>UNE-EN ISO 4210-4:2014*</i>	Bicicletas - Requisitos de seguridad de las bicicletas – Parte 4: Métodos de ensayo de los frenos
<i>UNE-EN ISO 4210-5:2014*</i>	Bicicletas - Requisitos de seguridad de las bicicletas – Parte 5: Métodos de ensayo de la dirección.
<i>UNE-EN ISO 4210-6:2015*</i>	Bicicletas - Requisitos de seguridad de las bicicletas – Parte 6: Métodos de ensayo del cuadro y de la horquilla
<i>UNE-EN ISO 4210-7:2015*</i>	Bicicletas - Requisitos de seguridad de las bicicletas – Parte 7: Métodos de ensayo de las ruedas y las llantas
<i>UNE-EN ISO 4210-8:2015*</i>	Bicicletas - Requisitos de seguridad de las bicicletas – Parte 8: Métodos de ensayo de los pedales y el sistema de transmisión
<i>UNE-EN ISO 4210-9:2015*</i>	Bicicletas - Requisitos de seguridad de las bicicletas – Parte 8: Métodos de ensayo del sillín y la tija
<i>UNE-EN ISO 8098:2015*</i>	Bicicletas para niños. Requisitos de seguridad y métodos de ensayo
<i>UNE EN 14872:2006*</i>	Bicicletas. Accesorios para bicicletas. Portaequipajes
<i>UNE EN 16054:2013*</i>	Bicicletas BMX. Requisitos de seguridad y métodos de ensayo

* NORMA UNE-EN adoptada en el ámbito de la DIRECTIVA 2001/95/CE de SEGURIDAD DE LOS PRODUCTOS Y R.D. 1801/2003 SEGURIDAD GENERAL DE LOS PRODUCTOS.

Les dades d'aquesta taula han estat extretes de la font (8)

Davant de la impossibilitat de trobar normativa referent a les bicicletes per a la pràctica del trial que reguli els assajos i tests que s'han de realitzar al quadre per validar-ne el seu disseny i fabricació complint els requisits de seguretat pertinents, s'ha decidit fer l'estudi tensional del quadre mitjançant la simulació de dos casos pràctics molt habituals en aquest esport.

Es tracta doncs, d'estudiar les tensions del quadre amb la sol·licitació estàtica del pes propi i el pes del pilot mitjançant càlculs lineals en dos escenaris que són molt comuns en el trial, les dues posicions d'equilibri per excel·lència sobre la bicicleta: amb aquesta recolzada sobre les dues rodes o bé únicament recolzant la roda posterior. En ambdós casos el mòdul de la força a aplicar és el mateix, però canvien les condicions de contorn de la bicicleta i la direcció d'aplicació de l'esforç.

6.2.1. DETERMINACIÓ DE LA FORÇA

Segons un estudi antropomètric de la població laboral espanyola a càrrec del Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT) realitzat amb valors extrets de mostres d'entre els anys 1991 i 1996 i rectificacions a l'any 1999, la massa corporal mitjana de l'adult espanyol varo és de 75'67 kg. (9)

Suposem que el pilot de trial estàndard és un adult d'entre 18 i 25 anys de complexitat atlètica/forta. La seva massa corporal mitjana serà lògicament més gran que la del espanyol adult mitjà, ja que es tracta d'un cos més musculat i s'estima que és d'aproximadament 85-90 kg. Per al nostre estudi, es treballarà amb números rodons i es considerarà que el pes del conjunt del pilot amb equipatge i la bicicleta és de 100 kg (cal recordar que el quadre sense cap component afegit té 3'96 kg de massa).

La força és doncs:

$$F = m \cdot a = 100 \cdot 9'81 = 981 \text{ N} \approx \mathbf{1000 \text{ N}}$$

Equació 2. Força que exerceix el pilot sobre el quadre.

On a és l'acceleració de la gravetat en m/s^2 i m la massa del conjunt del pilot i la bicicleta.

Per arrodonir, es considerarà la força a aplicar de 1000 N, de manera que, juntament amb la aproximació de la massa, a priori ja s'aplica un petit coeficient de seguretat.

6.2.2. CAS 1: Recolzament sobre les dues rodes

En aquest cas, es vol simular la força estàtica que exerceix el pilot quan es troba a sobre de la bicicleta i aquesta recolza les dues rodes al terra, de manera que la

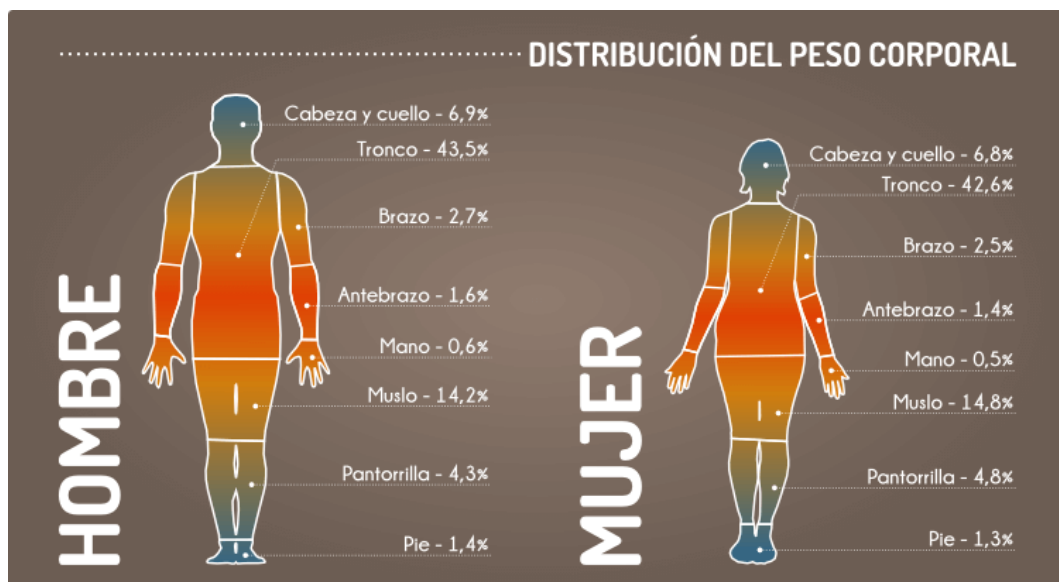
línia fictícia entre els eixos de les dues rodes (paràmetre geomètric de longitud entre eixos) queda paral·lela al terra en posició horitzontal.



Imatge 42. Posició d'estudi del primer cas.

Font: <http://cuencatrial.blogspot.com/2010/03/maniobras-basicas.html>

En aquesta posició, el pilot recolza part del pes sobre els pedals i part del pes sobre el manillar, que en el quadre queda reflectit en el pedaler i en el tub de direcció respectivament. Per a fer-ne la distribució corresponent, s'ha partit de la distribució del pes corporal de Zatsiorsky i deLeva, exposada a continuació.



Imatge 43. Distribució del pes corporal en % per home i dona.

Font: <https://www.colchonescefiro.es/blog/ventajas-de-un-colchon-con-zonas-de-firmeza-diferenciada/>

Per al primer cas d'estudi, es considera la distribució de forces segons el pes corporal de la següent manera:

- $F_1 \rightarrow$ Manillar/Tub de direcció: cap i coll, braços, avantbraços, mans i una quarta part del tronc.
- $F_2 \rightarrow$ Pedals/Eix del pedaler: tres quarts parts del tronc, cuixes, cames i peus.

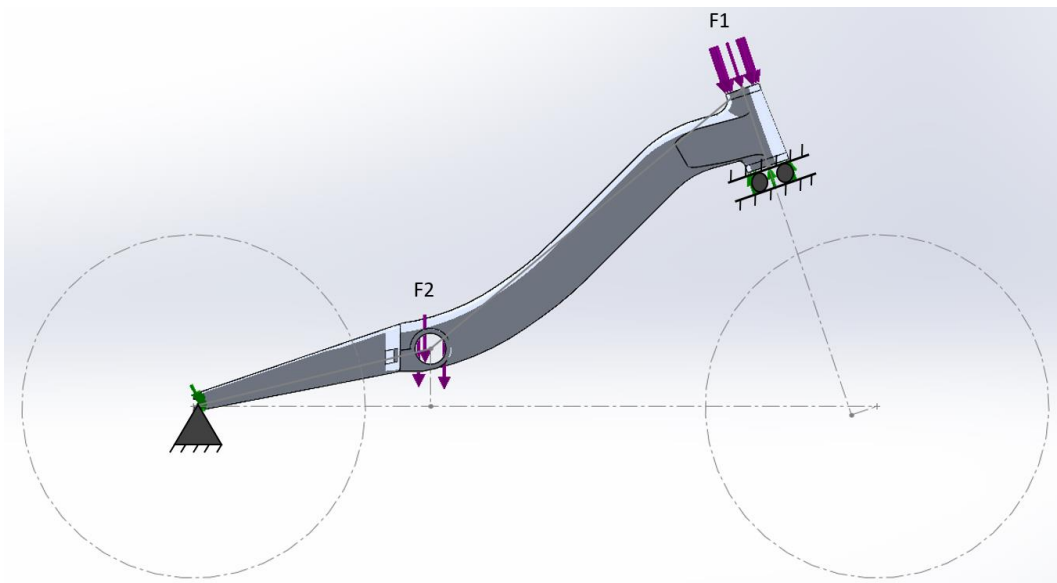
En valors, partint dels 1000 N prèviament esmentats queda:

$$F_1 = \left(\frac{6.9 + 2 \cdot (2.7 + 1.6 + 0.6) + \frac{1}{4} \cdot 43.5}{100} \right) \cdot 1000 = 275'75 \text{ N}$$

$$F_2 = \left(\frac{\frac{3}{4} \cdot 43.5 + 2 \cdot (14.2 + 4.3 + 1.4)}{100} \right) \cdot 1000 = 724'25 \text{ N}$$

Equació 3 i 4. Distribució de forces del cas 1.

Per a aquest primer estat de càrrega amb la bicicleta recolzada sobre les dues rodes, s'han adoptat les condicions de contorn que es defineixen a l'apartat 4.5 de la norma *UNE-EN ISO 4210-6:2014*, que regula l'assaig de fatiga amb força vertical i on es pren l'eix de la roda posterior com una articulació, amb els desplaçaments horitzontal i vertical restringit però el gir lliure, i l'eix de la roda davantera com a un recolzament lliscant. En aquest cas, al treballar únicament amb el quadre, s'ha traslladat el recolzament lliscant de l'eix davanter a la cara inferior del tub de direcció.



Imatge 44. Estat de càrrega i condicions de contorn del primer cas d'estudi.

Font pròpia.

Tal i com s'aprecia a la imatge, la direcció de la força F_2 és vertical, doncs es considera que el centre de gravetat de la distribució de pes del pilot que afecta a la força en qüestió es troba en aquesta direcció, mentre que a la força F_1 s'ha decidit mantenir l'angle de direcció, que més o menys coincideix amb l'ergonomia del pilot.

6.2.3. CAS 2: Recolzament sobre la roda posterior

En el segon cas d'estudi, es vol simular la força estàtica que exerceix el pilot sobre la bicicleta quan aquesta es troba recolzada únicament a la roda posterior, de manera que la línia fictícia que uneix els eixos de les dues rodes forma un angle d'aproximadament 30° respecte el terra.

Aquesta posició és un dels moviments més bàsics del trial però alhora és fonamental per a realitzar-ne la majoria de moviments i acrobàcies.

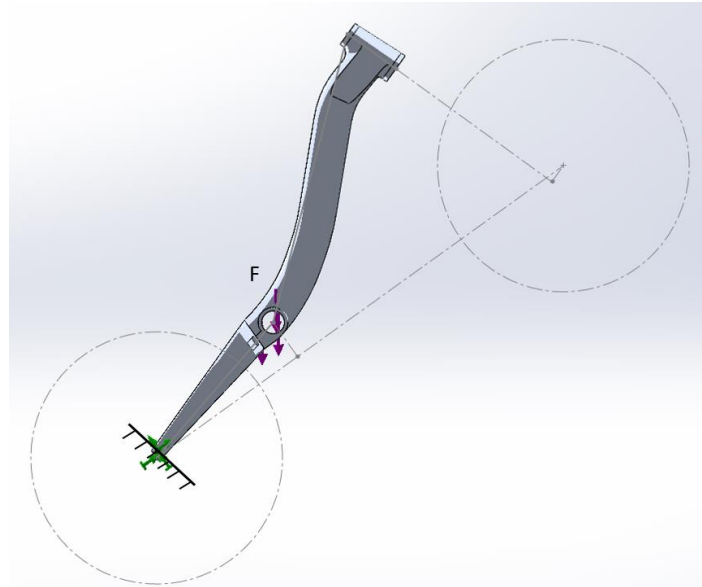


Imatge 45. Posició d'estudi del segon cas.

Font: <http://cuencatrial.blogspot.com/2010/03/maniobras-basicas.html>

En aquest cas doncs, el pilot recolza la totalitat del seu pes sobre els pedals, tan sols utilitzant el manillar com a eina d'equilibri. Tot i que a la realitat sí que en resultaria alguna força al manillar deguda a les accions d'equilibri del pilot, per a fer aquesta simulació s'ha adoptat la hipòtesis i/o simplificació que l'única força que intervé és el pes del mateix i s'aplica sobre els pedals, que en el quadre es veu reflectida a la caixa del pedaler.

Seguint el plantejament proposat per a aquesta simulació i a diferència del primer cas d'estudi, trobem una única càrrega aplicada F que, tal com s'ha justificat a l'apartat 6.2.1, pren el valor de 1000 N (equació 2). Com a condició de contorn en aquest cas, es considera l'eix de les punteres com a encastament perfecte.



Imatge 46. Estat de càrrega i condicions de contorn del segon cas d'estudi.

Font pròpia.

6.3. ANÀLISI DE RESULTATS

Un cop realitzades les dues simulacions amb el mòdul *Simulation* del software SolidWorks, cal interpretar-ne els resultats i validar-los o, per contra, refutar la validesa de la simulació i descartar l'assaig. En aquest apartat s'exposen els resultats de la simulació de càlcul estructural del quadre per als dos casos d'estudi i l'anàlisi consegüent amb el suport d'algunes de les imatges representatives que grafica el programa.

En el càlcul estructural d'aquest Treball Final de Grau, s'ha estudiat dos casos estàtics amb la sol·licitació del pes del pilot, val a dir però, que a la pràctica del trial l'esforç més perillós per al quadre són les càrregues de impacte o de xoc i tot i no ser molt recurrent i abrupte en aquest esport, la fatiga del material també hi juga un paper important.

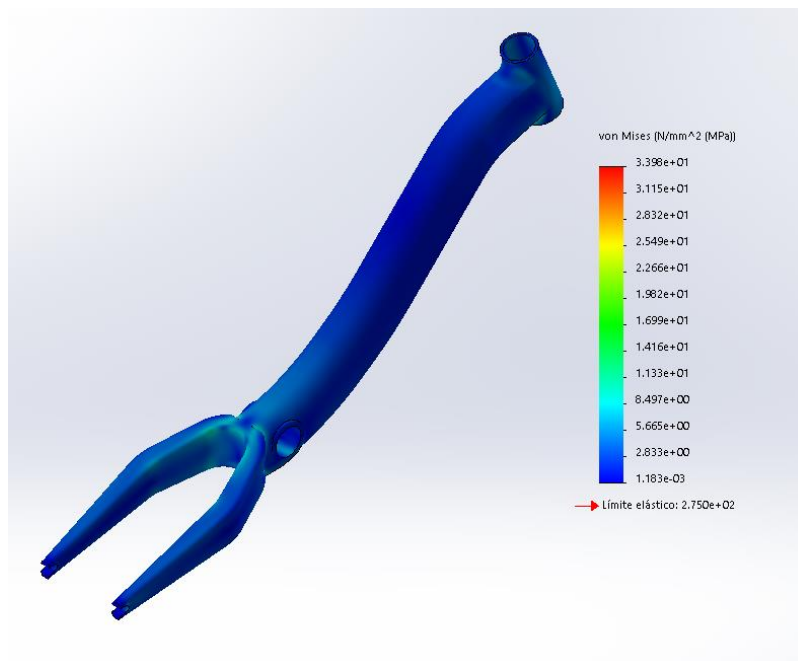
Per motius de complexitat, aquests càlculs queden fora de l'abast del projecte, tant els càlculs de les forces de xoc, per ser de caire dinàmic i no lineal, com els esforços a fatiga, ja que no es disposa de la caracterització del material als cicles desitjats. Tanmateix, a l'hora d'analitzar els resultats de les simulacions realitzades s'ha de tenir en compte que el xassís sovint estarà exposat a esforços més agressius i per tant, s'ha de poder garantir un coeficient de seguretat generós en els càlculs realitzats en aquest treball amb motiu d'assegurar el bon funcionament del producte, o si més no, validar-ne el disseny amb prou fermesa per posteriorment fabricar-ne un prototip i realitzar els assajos més exhaustius en el banc de proves d'un laboratori abans de ser fabricat en sèrie.

Com a criteri de validació, es farà l'anàlisi tensional de Von Mises (MPa) i els desplaçaments i deformacions (mm) mitjançant càlculs estàtics lineals. De la mateixa manera, per contemplar indirectament les càrregues d'impacte i el comportament a fatiga, s'utilitzarà el criteri de les 5G's, un mètode molt utilitzat en els assajos estructurals del món de les motocicletes d'enduro com a recurs per garantir que ens trobem sempre a la banda de la seguretat. En aquest cas, al tractar-se de simulacions de caire lineal i dins del rang elàstic del material, no es modificarà el valor de l'esforç aplicat considerant una acceleració de la gravetat cinc vegades major sinó que es tindrà en compte amb la interpretació dels resultats prenent el model dissenyat com a apte sempre i quant tingui un coeficient de seguretat pròxim a cinc, amb el qual es considera que aguantaria les forces d'impacte i la fatiga sense fallar.

Aquesta decisió s'ha pres per tal de poder veure de manera més clara el comportament real del quadre sotmès a l'esforç degut al pes propi del pilot.

6.3.1. CAS 1: Recolzament sobre les dues rodes

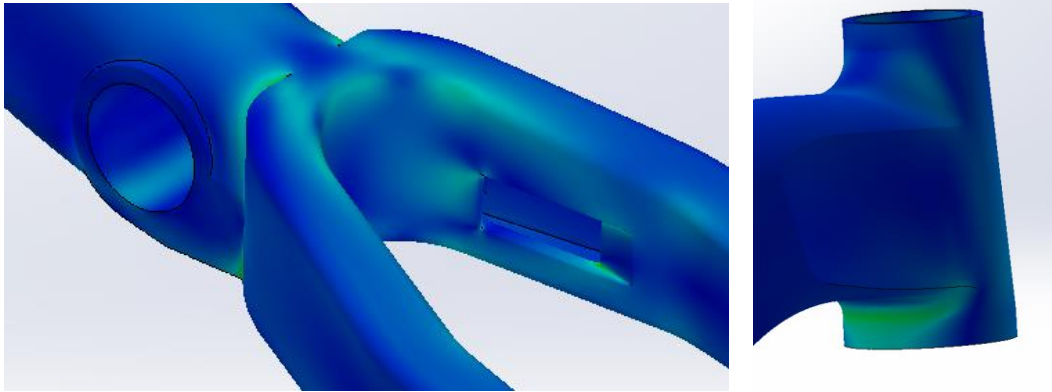
Per al primer cas d'estudi els resultats han estat força similars als esperats, prèviament semblava lògic que amb l'estat de càrrega tractat en aquesta simulació les zones de més concentració de tensions serien les unions del tub principal amb les beines i el tub de direcció, amb especial èmfasi a la zona propera a la caixa del pedaler, on s'aplica l'esforç de major mòdul.



Imatge 47. Estat tensional del quadre.

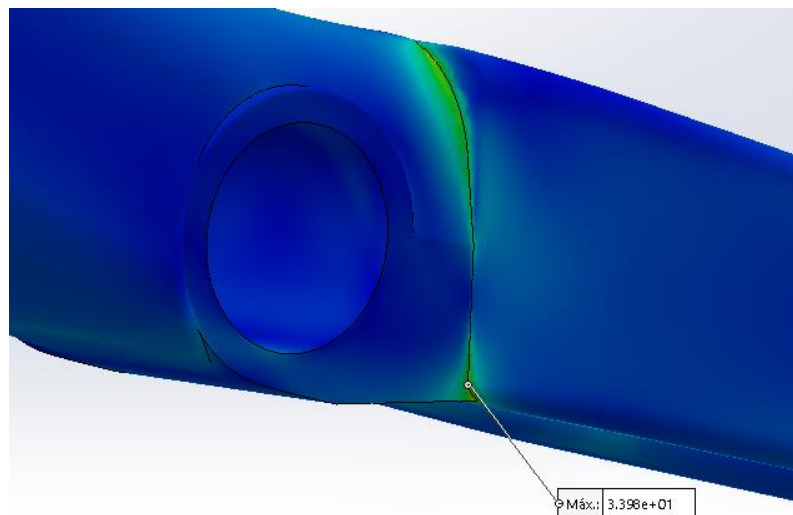
Font pròpia.

Tal i com s'aprecia a la imatge, l'estat tensional del quadre és força lleuger i no pateix gaire davant la càrrega aplicada. Els valors màxims de tensió, que ens grafica el programa amb colors més vius, es troben lluny del límit elàstic de l'alumini 6061-T6 amb el que està fabricat el quadre.



Imatge 48. Zones de concentració de tensions.

Font pròpia.



Imatge 49. Zona de màxima sol·licitació. Tensió màxima de 33'98 MPa.

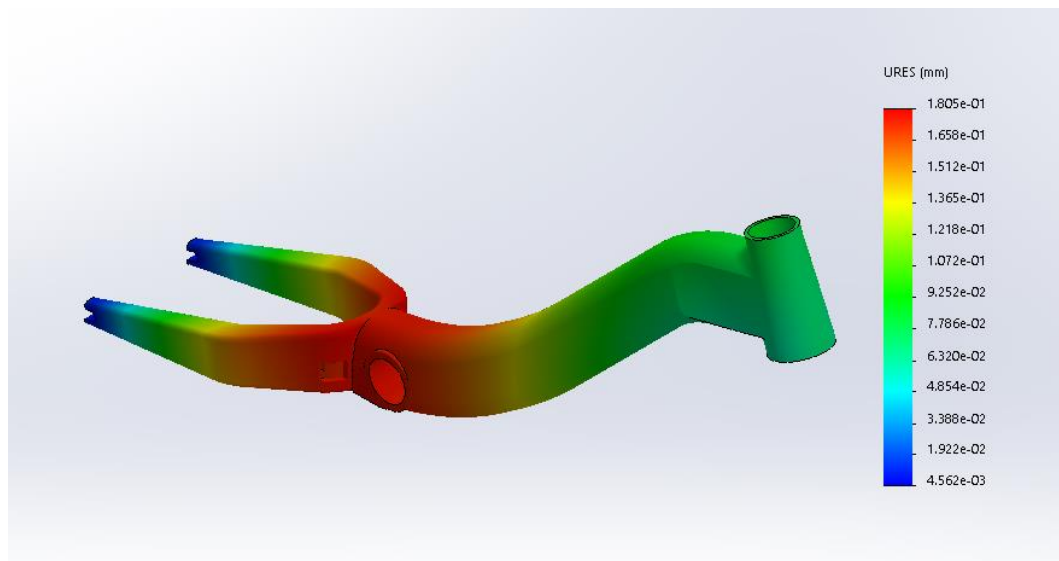
Font pròpia.

Si s'analitza el valor màxim de tensió (33'98 MPa), tan sols donat en una petita zona del contacte més brusc entre els tubs de les beines i la part mecanitzada del tub principal, es pot concloure ràpidament que el quadre davant l'esforç degut al pes del pilot quan la bicicleta es recolza sobre les dues rodes presenta molt bona rigidesa i resistència.

Per a aquest cas, i sabent que el límit elàstic del material emprat és de 276 MPa, el coeficient de seguretat es troba al voltant de 8'1 a la secció més sol·licitada, de

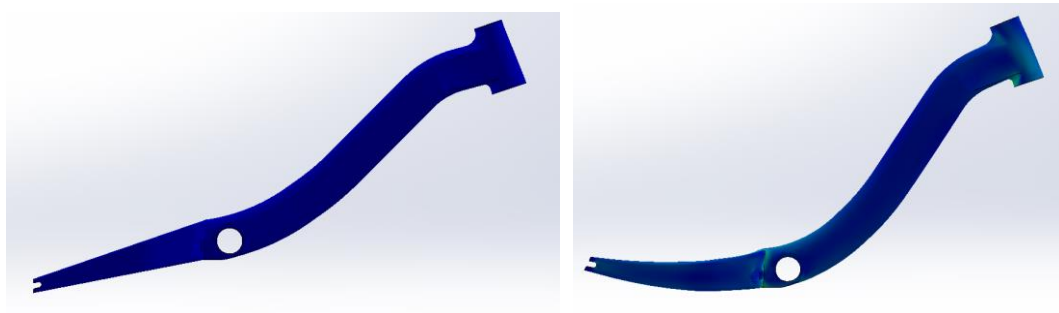
manera que a grans trets i amb les mateixes condicions, es podria carregar el quadre de bicicleta amb una distribució de forces idèntica i de resultant 8000 N sense que el quadre falli.

Pel que fa als desplaçaments i deformacions, la zona més vulnerable del quadre és precisament la zona on s'hi aplica la força, el pedaler. Amb aquestes condicions, on el quadre de la bicicleta queda fixat tant per l'eix de la roda posterior com per el de la davantera, la flexió més notable es situa al tub principal prop de la zona del pedaler.



Imatge 50. Desplaçaments del quadre.

Font pròpia.



Imatge 51. Comparativa de la deformació abans i després d'aplicar la càrrega. Escala 400:1.

Font pròpia.

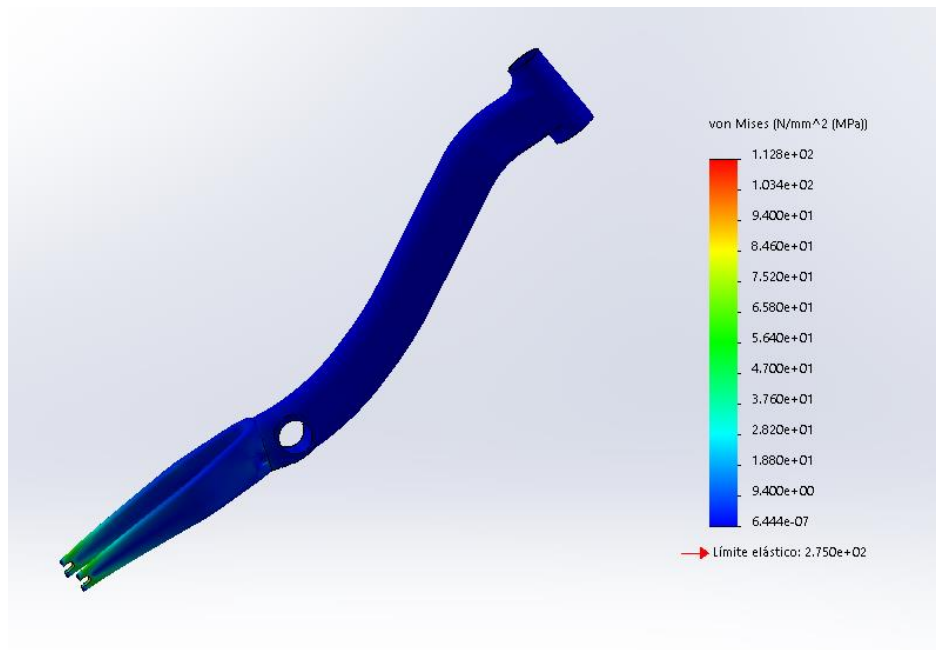
En aquest cas d'estudi, la deformació màxima que pateix el quadre té un desplaçament de 0.18 mil·límetres, flectant per la zona del pedaler just com s'havia previst.

Tenint en compte que aquest desplaçament és degut a un estat tensional que es troba per sota del límit elàstic del material, es tracta d'una deformació elàstica que no afecta en absolut al funcionament de la bicicleta i és totalment negligible.

Aquesta simulació doncs, es pren per vàlida ja que s'aproxima bastant bé al comportament d'una bicicleta en aquestes condicions d'esforç i els resultats obtinguts són coherents i representen al detall el que s'havia estimat abans de realitzar el càlcul.

6.3.2. CAS 2: Recolzament sobre la roda posterior

En el segon cas d'estudi, els resultats numèrics que representen el comportament de la bicicleta sota la sol·licitació de pes del pilot quan aquest es troba fent la posició del "cavallet" recolzant la bici únicament amb la roda del darrere requereixen d'interpretació física més enllà dels resultats que ens dona la simulació, doncs prèviament s'estimaven uns altres valors tot i que la naturalesa de l'assaig hagi estat semblant al que s'esperava.

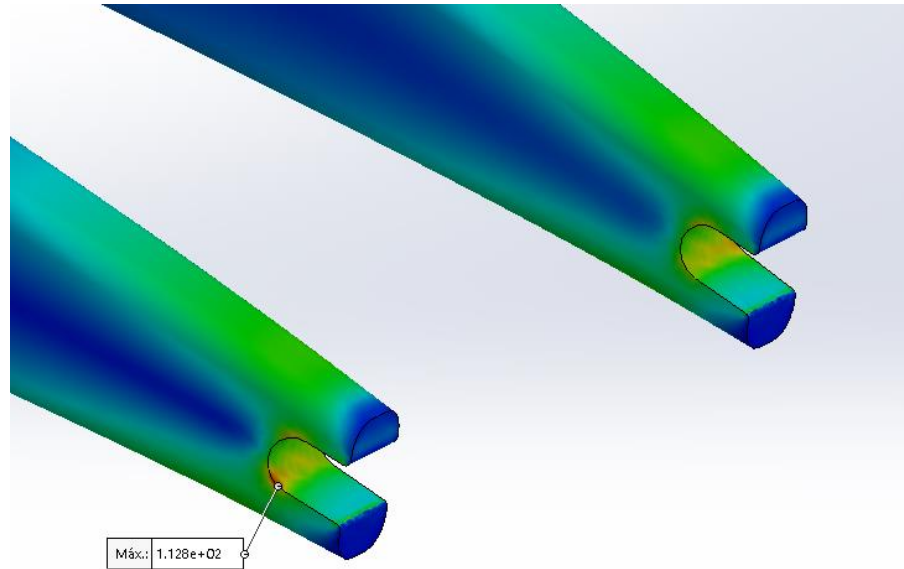


Imatge 52. Estat tensional del quadre.

Font pròpia.

En quant a la distribució i concentració de tensions en les condicions d'aquest cas d'estudi, els resultats de la simulació pel mètode dels elements finits concorden amb el comportament estimat. Al estar la bicicleta únicament recolzada sobre la roda posterior i la unió del quadre amb la roda es troba a l'eix d'aquesta mitjançant les punteres, la concentració de tensions al fer l'estudi del quadre per separat dels

altres components és màxima a la zona de les beines i en particular a les punteres tenint la resta del domini del quadre alleujat de tensions.



Imatge 53. Zona de màxima sol·licitació. Tensió màxima de 112'8 MPa.

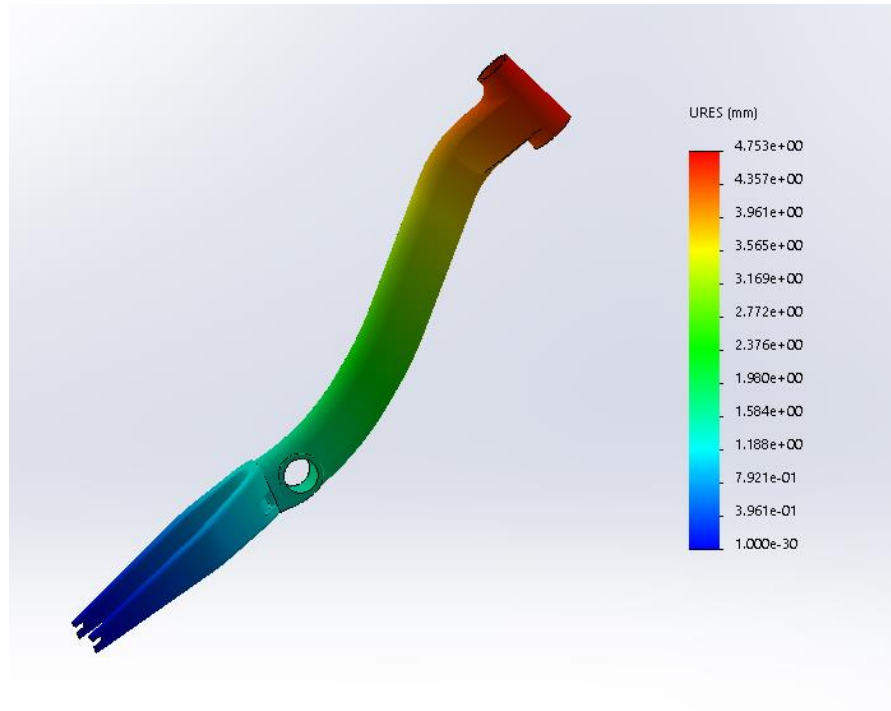
Font pròpia.

Per la naturalesa d'aquest assaig i les condicions i posició de la bicicleta, els valors de tensió es troben més concentrats en una zona concreta i prenen valors més elevats que en el cas anterior on, mitjançant el recolzament amb les dues rodes s'aconsegueix repartir millor els esforços i les tensions generades al xassís de la bicicleta.

De totes maneres, il·lustrat a la imatge 51, el valor màxim de tensió per a aquest cas es dona precisament als mecanitzats de les punteres i pren un valor de 112'8 MPa, fet que no proporciona un factor de seguretat de 2'4 tenint en compte el límit elàstic del material emprat. Així doncs, per a aquest cas ens trobem força lluny de l'objectiu plantejat amb el criteri de les 5G encara que a priori i sota aquestes condicions el quadre funcionaria a la perfecció.

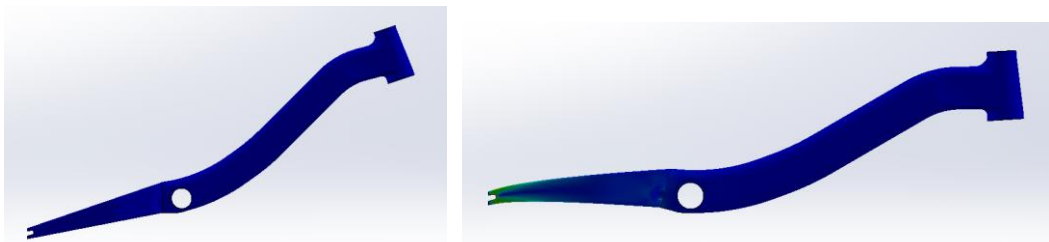
Abans d'analitzar els desplaçament i deformacions cal recordar que per aquest segon cas d'estudi, s'ha considerat com a hipòtesi de treball que les condicions de contorn del quadre en aquesta situació és d'encastament a les punteres. Al aplicar la força doncs, la part del quadre que pateix major deformació és la mateixa zona de les beines propera a les punteres, produint-se una flexió típica derivada de l'encastament imposat. I els desplaçament més grans els trobem, per contra, a l'extrem contrari de les punteres, al tub de direcció, ja que al ser la part del quadre

més allunyada de les restriccions de moviment la força equivalent del pes del pilot hi provoca un moment més gran i en provoca un desplaçament major, en aquest cas de 4'75 mm. Valor inacceptable encara que es trobi dins el rang elàstic del material.



Imatge 54. Desplaçaments del quadre.

Font pròpia.



Imatge 55. Comparativa de la deformació abans i després d'aplicar la càrrega. Escala 50:1.

Font pròpia.

Amb els valors obtinguts en la simulació del segon cas d'estudi, no es compleix el criteri de seguretat adoptat en aquest treball: el criteri de les 5G's, malgrat poder assegurar un coeficient de seguretat de 2'4.

El desajust d'aquest segon assaig però, es deuen a que les condicions de contorn aplicades per a dur a terme la simulació (encastament a les punteres), no fan justícia al comportament real d'una bicicleta de trial per a aquesta posició i per a aquest cas concret, doncs el pneumàtic de la roda posterior esmorteixen gran

part del pes i absorbeixen el desplaçament que ha resultat de la simulació. De totes maneres, el software SolidWorks no permetria realitzar alguna altra simulació de càlcul estàtic realista per a aquesta situació degut a la alta complexitat o gairebé impossibilitat de simular la compressibilitat del pneumàtic de la roda.

És clar doncs, que les condicions sota les quals s'ha dut a terme la simulació del segon cas d'estudi són hipòtesis i estimacions que no s'ajusten a la perfecció al comportament real d'una bicicleta de trial.

6.3.3. VALIDACIÓ DEL DISSENY

Un cop obtinguts els resultats de les simulacions numèriques dels dos casos plantejats per a l'estudi estructural del quadre de la bicicleta de trial dissenyat en aquest Treball Final de Grau i després de fer-ne la interpretació física i mecànica corresponent per a cadascun dels dos casos, es pot concloure el següent:

Per al primer cas d'estudi els resultats han estat satisfactoris, assegurant un factor de seguretat en quant a concentració de tensions de 8'1 i considerant que els desplaçaments que pateix el quadre sota la sol·licitació esmentada per a la situació en qüestió no alteren el correcte funcionament de la bicicleta i en són perfectament acceptables.

Per al segon cas d'estudi i sota les condicions de contorn plantejades com a hipòtesis simplificativa s'ha observat com el quadre aguanta també l'esforç aplicat i n'assegura un coeficient de seguretat de 2'4 i tot i que estrictament no compleixi amb el requisit que s'ha volgut adoptar com a criteri de definició d'un quadre apte o no apte es considera que la simulació no plasma el comportament real de la bicicleta en la posició d'estudi i se'n fa la interpretació que els resultats serien molt més favorables ja que les tensions quedarien alleugerades si no se'n restringeixen tots els moviments a les punteres com seria el cas real i el desplaçament i deformacions que s'han observat que pateix el xassís en aquestes condicions quedarien en gran mesura absorbides i esmorteïdes per la compressibilitat del pneumàtic de la roda posterior, garantint llavors en la seva totalitat, un factor de seguretat adequat.

Així doncs, el disseny del quadre queda validat per a la futura elaboració d'un prototip sobre el qual s'hauria de realitzar proves de caire més exhaustiu en un banc de proves per acabar de testar el xassís sota situacions més agressives, incloent càrregues d'impacte i esforços de fatiga i en cas d'obtenir resultats favorables autoritzar-ne la fabricació en sèrie o per el contrari, treballar en la optimització del disseny i tornar-ne a realitzar les proves pertinents.

7. RESUM DEL PRESSUPOST

En aquest apartat es mostra de manera resumida i amb l'objectiu de donar una idea general de la magnitud dels recursos econòmics consegüents del projecte del xassís de la bicicleta de trial, objecte del present Treball Final de Grau.

En el pressupost del projecte s'han tingut en compte els honoraris professionals de l'enginyer de desenvolupament i disseny i els costos de fabricació del quadre i el testeig amb assajos exhaustius del prototip sense contemplar el cost dels equips, motlles, utillatges i demés maquinària requerits per a la conformació del mateix, ja que per a una única peça no quedarien amortitzats i el preu es dispararia quedant llavors, un preu unitari del xassís surrealista.

7.1. HONORARIS PROFESSIONALS

Taula 6. Pressupost dels de desenvolupament del projecte. Honoraris professionals.

CONCEPTE	ESTAT D'AMIDAMENTS (H)	PREU UNITARI (€/H)	PREU TOTAL
Project Management	25	25	625,00 €
Estudi previ	35	25	875,00 €
Fase de concepte	35	25	875,00 €
Fase de disseny. Enginyeria de detall	110	25	2.750,00 €
Anàlisi de resultats	35	25	875,00 €
Documentació	60	25	1.500,00 €
Llicència SolidWorks	2160	8500 €/any	2.095,00 €
TOTAL HONORARIS PROFESSIONALS			9.595,00 €

7.2. COSTOS DE PRODUCCIÓ

Taula 7. Pressupost dels costos de fabricació d'un quadre i testeig del prototip.

CONCEPTE	PREU TOTAL
Material (alumini 6061-T6)	78,10 €
Conformat o fabricació	600,00 €
Acabats	70,00 €
Assajos i testeig del prototip	1.200,00 €
TOTAL FABRICACIÓ I TESTEIG DEL QUADRE	1.948,10 €

8. CONCLUSIONS

Un cop finalitzat el projecte, cal valorar el contingut assolit amb la realització del mateix i veure si s'han complert els objectius proposats a l'inici del treball de manera satisfactòria i els aspectes que caldria millorar i treballar amb més profunditat en recerques futures.

S'han complert amb èxit tots els objectius proposats en el projecte i el resultat final ha estat el disseny d'un quadre monocasc per a una bicicleta de trial de la modalitat 20" conformat amb un aliatge d'alumini apte per a pilots adults i per a la pràctica de l'esport en general.

Pel que fa a la geometria, s'ha aconseguit trobar un balanç entre els paràmetres que la defineixen de manera que la bicicleta sigui el més còmode possible i alhora faciliti la tècnica d'execució dels moviments del trial, basant-se en la geometria de les bicicletes de competició actuals.

El disseny del quadre, d'estil monocasc i conformat en una sola peça, adopta una forma més orgànica del que s'acostuma a veure en quadres de bicicleta conformatos en metall gràcies a la geometria de la secció seleccionada pel tub principal, fent el model vàlid tant per la seva fabricació en alumini com en fibra de carboni amb les mínimes modificacions.

L'últim dels objectius era realitzar-ne el càlcul estructural que permetés validar el disseny del xassís. En general els resultats han estat satisfactoris tot i que caldria destacar-ne alguns matisos.

- Les simulacions d'assajos realitzats en aquest projecte han estat dos casos estàtics que es donen de forma molt habitual a la pràctica del trial però no són regulats per cap normativa europea, ja que per al cas de les bicicletes de trial no hi ha cap normativa que estableixi els tests que han de passar els quadres d'aquesta modalitat, per aquesta raó, normalment se sol realitzar prototips dels dissenys desenvolupats amb la finalitat de testar millor els quadres a nivell d'impactes, soldadures, cops, esforços puntuals i qualsevol altre tipus de càrrega a la que poden sotmetre's, tot i que la simulació estructural mitjançant softwares de CAE és una bona base per validar en primera instància un model. Aquesta informació ha estat confirmada pel product manager de l'empresa Monty, Miguel Liberal.
- Per a l'assaig del primer cas d'estudi recollit en aquest projecte, amb la bicicleta recolzada sobre les dues rodes, els resultats han mostrat un comportament excepcional tant a nivell tensional com de desplaçaments i deformacions.

- Per a l'assaig del segon cas d'estudi, on la bicicleta es recolza únicament sobre la roda posterior la simulació ha donat resultats positius amb els quals es considera apte el disseny del quadre, però amb les condicions de contorn aplicades en aquest estudi no es fa justícia al comportament real de la bicicleta per a la situació que s'ha volgut representar.

En conjunt doncs, es pot concloure que s'han assolit els objectius establerts per al projecte del xassís de bici de trial de manera satisfactòria encara que, com a punt crític a destacar, el càlcul estructural realitzat es considera que dona com a acceptable el disseny del quadre únicament sota la premissa de la fabricació d'un prototip del mateix sobre el qual realitzar les proves necessàries i més exhaustives en un banc de proves per a acabar validant el disseny al complet i autoritzar-ne la fabricació i comercialització.

Després de la realització del meu Treball Final de Grau, per complementar l'abast inicial del projecte i/o ampliar-ne el contingut conservant la temàtica tractada, es proposen els següents punts per a futurs desenvolupaments i estudis:

- Càlcul estructural CAE (mitjançant simulacions) de les càrregues d'impacte i xocs així com els esforços a fatiga
- Caracterització del material del quadre conformat amb fibra de carboni per a poder fer-ne simulacions estructurals ajustades al comportament real del material anisòtrop amb fibres multidireccionals
- Prototipat del disseny i proves físiques exhaustives en un banc de proves d'un laboratori estructural
- Optimització del disseny per a reduir pes, viabilitat de seccions i espessor variable en funció de les zones de més o menys concentració de tensions del xassís
- Entrar en detall del mètode de fabricació contemplant avantatges, inconvenients i limitacions a l'hora de conformar un quadre monocasc

8.1. VALORACIÓ PERSONAL

Personalment, he quedat molt satisfet amb l'elaboració d'aquest projecte, que m'ha servit per aprendre un munt de detalls tècnics del sector del trial i a més, gràcies a la realització del treball m'ha encoratjat a reprendre la pràctica de l'esport que feia anys que tenia abandonada.

A nivell acadèmic, he pogut aplicar molts dels coneixements adquirits al llarg del Grau d'Enginyeria en Tecnologies Industrials i m'ha permès aprofundir els meus coneixements del software SolidWorks, així com aprendre i créixer com a persona superant els petits obstacles que et posa la vida, mantenint la motivació per seguir amb el treball inclús en els moments més complicats.

9. BIBLIOGRAFIA

9.1. BIBLIOGRAFIA GENERAL CONSULTADA

1. AENOR. Normas, legislación y políticas públicas.
2. Webcyclery. Bike Trials Geometry Guide. A: [en línia]. [Consulta: 29 maig 2019]. Disponible a: <https://www.webcyclery.com/about/bike-trials-geometry-guide-pg64.htm>.
3. Unio Catalana de BikeTrial. Història del BikeTrial, un esport nascut a Catalunya | Unió Catalana de BikeTrial. A: [en línia]. [Consulta: 29 maig 2019]. Disponible a: <http://www.biketrial.cat/sobre-la-buc/historia-del-biketrial/>.
4. TrialWorld. La biblia del trial. A: [en línia]. [Consulta: 29 maig 2019]. Disponible a: <https://www.trialworld.es/la-biblia-del-trial/>.
5. TodoTrial. Historia del trial. A: [en línia]. [Consulta: 29 maig 2019]. Disponible a: <https://www.todotrial.com/ttclasico/historia/capitulo1.htm>.
6. Tarnas, J. et al. Bike Trial - Characterisation of the Event in View of the Uci World Championships From 2003 To 2011. A: *Studies in Physical Culture & Tourism*. 2012, Vol. 18, núm. 4, p. 297-304. ISSN 08671079.
7. Solana Rodríguez, A. Cuadro de bicicleta en material compuesto. 2014
8. CLEAN Trials. Catàleg 2018
9. La Vanguardia. El bike trial, un deporte «made in Catalunya». A: [en línia]. [Consulta: 29 maig 2019]. Disponible a: <https://www.lavanguardia.com/deportes/otros/20120101/54243805346/bike-trial-deporte-made-in-catalunya.html>.
10. Giuseppe Mirlisenna, M.S. Método de elementos finitos: ¿qué es? A: 2016-01-22 [en línia]. [Consulta: 29 maig 2019]. Disponible a: <https://www.esss.co/blog/es/metodo-de-los-elementos-finitos-que-es/>.
11. Federación Española de Ciclismo. Reglamento de Trial en Bici y Bike Trial.
12. De La Calle Gironès, Carles, autor. *Disseny de quadre semirígid d'una bicicleta d'enduro*. 2017.
13. Conde De Andres, Alberto, A. ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A FATIGA DE UN CUADRO DE BICICLETA DE DOBLE SUSPENSIÓN. A: *Measurement*. 2010, núm. May, p. 2010.
14. Cirera Arasa, Agusti, autor. *Disseny d'una bicicletad'enduro*. 2019.

15. Cavero Gan, J. Diseño de bicicleta con candado incorporado. 2017
16. Cheung, S.S. i Zabala, M. *Cycling Science*. 2017. ISBN 9780226924137. DOI 10.1080/02640414.2017.1313625.
17. Cañizares Gómez, Pedro, A. Prediseño y análisis numérico de un prototipo de cuadro de bicicleta en CFRP. 2016
18. Busquets Sáez, M. *Disseny d'un quadre de bicicleta amb doble suspensió*. 2016.
19. Boboltz, D., Harmer, R. i Vanderveen, C. Trials Bike Frame Concept Western Michigan University. 2007
20. BikeTrial International Union. Reglamento Técnico Biketrial. 2015.
21. BikeTrial International Union. BikeTrial. A: [en línia]. [Consulta: 29 maig 2019]. Disponible a: <http://www.biketrialinternational.com/index.php/sports/biketrial.html>.
22. Alcoverro Colom, Pau, autor. *Disseny i simulació amb el mètode dels elements finits d'un quadre de bicicleta de carretera de fibra de carboni*. 2017.
23. Normas propuestas - AMBE.
24. MONTY BIKES | Tienda Online de Bicicletas y Componentes. A: [en línia]. [Consulta: 28 maig 2019]. Disponible a: <https://www.montybikes.com/>.
25. Kabra Bikes. A: [en línia]. [Consulta: 29 maig 2019]. Disponible a: <http://kabrabikes.com/index.php>.
26. Tienda online de Bicicletas de Trial | BikeTrial - Trial-Bikes. A: [en línia]. [Consulta: 29 maig 2019]. Disponible a: <https://www.trial-bikes.com/>.
27. Clean Trials. A: [en línia]. [Consulta: 29 maig 2019]. Disponible a: <https://cleantrials.com/es/>.
28. BIKENBICI.COM, tienda online especializada en Trial y Biketrial. Las mejores marcas del mercado. A: [en línia]. [Consulta: 29 maig 2019]. Disponible a: <https://www.bikenbici.com/b2c/1>.
29. TRASHZEN - Learn from trials. A: [en línia]. [Consulta: 29 maig 2019]. Disponible a: <https://trashzen.com/index.php>.
30. Oficina Española de Patentes y Marcas. A: [en línia]. [Consulta: 29 maig 2019]. Disponible a: <http://www.oepm.es/es/index.html>.
31. Google Patents. A: [en línia]. [Consulta: 29 maig 2019]. Disponible a: <https://patents.google.com/>.


32. Espacenet - Patent Search. A: [en línia]. [Consulta: 29 maig 2019]. Disponible a: <https://worldwide.espacenet.com/>.
33. European Patent Office. A: [en línia]. [Consulta: 29 maig 2019]. Disponible a: <https://www.epo.org/index.html>.
34. DiscoveryUPC | Bibliotècnica. A: [en línia]. [Consulta: 29 maig 2019]. Disponible a: <https://discovery.upc.edu/iii/encore/myaccount;jsessionid=89DC63191BA8D4A97897C5706DE5FD94?lang=cat&suite=def>.
35. Trial: medidas básicas de una bicicleta - YouTube. A: [en línia]. [Consulta: 29 maig 2019]. Disponible a: <https://www.youtube.com/watch?v=2nPdn5utyEk>.
36. El trial, una de las especialidades más difíciles, apasionantes y olvidadas. A: [en línia]. [Consulta: 29 maig 2019]. Disponible a: <https://www.motorpasionmoto.com/off-road/el-trial-una-de-las-especialidades-mas-dificiles-apasionantes-y-olvidadas>.
37. El trial en pocas palabras - Movimiento Base. A: [en línia]. [Consulta: 29 maig 2019]. Disponible a: <https://www.base.net/movimientobase/el-trial-en-pocas-palabras/>.
38. Pere Pi i Parera | bonaigua - trial. A: [en línia]. [Consulta: 29 maig 2019]. Disponible a: http://www.bonaigua-trial.com/1/pere_pi_i_parera_2916589.html.
39. Ot Pi - 12 Times World Biketrial Champion - Official Site. A: [en línia]. [Consulta: 29 maig 2019]. Disponible a: <http://www.otpi.com/ca/museum/>.
40. Bike trial: habilidad, riesgo y emoción - TradeBike & Tri - Bike and triathlon community. A: [en línia]. [Consulta: 29 maig 2019]. Disponible a: <https://www.tradebike.es/mountain-bike/20160513/bike-trial-habilidad-riesgo-emocion.aspx>.
41. Historia | biketrial-spain.com, el portal del BikeTrial en España. A: [en línia]. [Consulta: 29 maig 2019]. Disponible a: <http://biketrial-spain.com/biketrialpress/historia/>.
42. Historia del Bike Trial – Trial4Life. A: [en línia]. [Consulta: 29 maig 2019]. Disponible a: <https://trial4life.sport.blog/2016/12/01/contenido-destacado-3/>.
43. Que es el Trial - trialmexico.mxtrialmexico.mx. A: [en línia]. [Consulta: 29 maig 2019]. Disponible a: <http://trialmexico.mx/acerca-del-trial/que-es-el-trial/>.
44. Todotrial.com - Reportaje, debate: diferencias entre trial UCI y BIU (Biketrial). - Bicitrial, Biketrial, Trialsin - General. A: [en línia]. [Consulta: 29 maig 2019].

Disponible a: <https://todotrial.mforos.com/1815069/10705632-reportaje-debate-diferencias-entre-trial-uci-y-biu-biketrial/>.

45. REGLAMENTO UCI DEL DEPORTE CICLISTA.

46. Laboratorio ciclista - ¿Conoces todos los tipos de pedalieros? A: [en línia]. [Consulta: 29 maig 2019]. Disponible a: <https://suraventurabikes.es/laboratorio-ciclista-pedalieros/>.

47. Tipos de pedalier de bicicleta | NO SIN MI BICI. A: [en línia]. [Consulta: 29 maig 2019]. Disponible a: <https://nosinmibici.com/2016/06/15/tipos-de-pedalier-de-bicicleta/>.

48. La guía definitiva de cuadros de bicicleta; ¿qué material es mejor? | . A: [en línia]. [Consulta: 29 maig 2019]. Disponible a: <https://tuvalum.com/blog/guia-materiales-cuadros-bicicleta/>.

49. El carbono de las bicicletas - Biking Point Blog. A: [en línia]. [Consulta: 29 maig 2019]. Disponible a: <https://www.bikingpoint.es/blog/el-carbono-de-las-bicicletas/>.

50. INFORME: Los materiales de un cuadro | Informes | Ciclismoafondo.es. A: [en línia]. [Consulta: 29 maig 2019]. Disponible a: <https://www.ciclismoafondo.es/reportajes-ciclismo/articulo/material-cuadro-bicicleta>.

51. Informe: Materiales para cuadros de MTB | MTB Pro. A: [en línia]. [Consulta: 29 maig 2019]. Disponible a: <https://www.mtbpro.es/afondo/informe-materiales-para-cuadros-de-mtb>.

52. AENOR - Buscador de normas. A: [en línia]. [Consulta: 29 maig 2019]. Disponible a: <https://www.aenor.com/normas-y-libros/buscador-de-normas>.

53. Anàlisi d'elements finits - Viquipèdia, l'enciclopèdia lliure. A: [en línia]. [Consulta: 29 maig 2019]. Disponible a: https://ca.wikipedia.org/wiki/Anàlisi_d%27elements_finites.

54. Trial (ciclisme)-Viquipèdia, l'enciclopèdia lliure. A: [en línia]. [Consulta: 29 maig 2019]. Disponible a: [https://ca.wikipedia.org/wiki/Trial_\(ciclisme\)](https://ca.wikipedia.org/wiki/Trial_(ciclisme)).

55. Bicitrial- Viquipèdia, l'enciclopèdia lliure. A: [en línia]. [Consulta: 19 maig 2019]. Disponible a: <https://ca.wikipedia.org/wiki/Bicitrial>.

56. Trial-Viquipèdia, l'enciclopèdia lliure. A: [en línia]. [Consulta: 29 maig 2019]. Disponible a: <https://ca.wikipedia.org/wiki/Trial>.

57. Biketrial-Viquipèdia, l'enciclopèdia lliure. A: [en línia]. [Consulta: 29 maig 2019]. Disponible a: <https://ca.wikipedia.org/wiki/Biketrial>.

9.2. REFERÈNCIES BIBLIOGRÀFIQUES

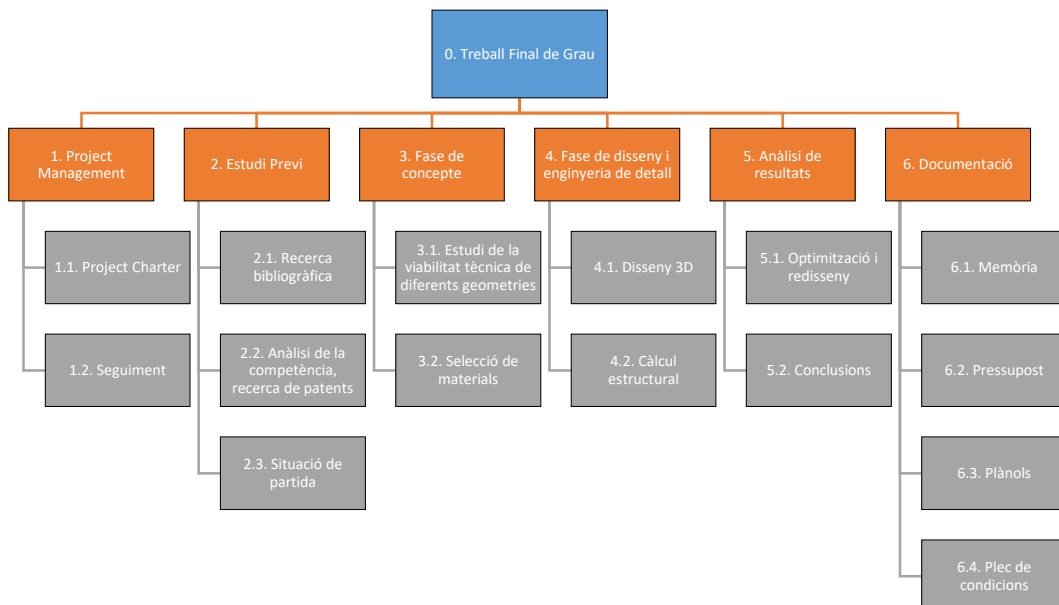
1. Historia | Bicicletas Monty. A: [en línia]. [Consulta: 29 maig 2019]. Disponible a: <https://www.montybikes.com/PBCPPlayer.asp?ID=1917703>.
2. Busquets Sáez, M. *Disseny d'un quadre de bicicleta amb doble suspensió*. 2016.
3. Material Selection Charts. A: [en línia]. [Consulta: 29 maig 2019]. Disponible a: http://www-materials.eng.cam.ac.uk/mpsite/interactive_charts/default.html.
4. Online Materials Information Resource - MatWeb. A: [en línia]. [Consulta: 29 maig 2019]. Disponible a: <http://www.matweb.com/>.
5. AENOR. Norma UNE-EN ISO 4210-6:2015 V2. A: [en línia]. [Consulta: 28 maig 2019]. Disponible a: https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma/?c=N0055959#.WRgM_-XyhPb.
6. AENOR. Norma UNE-EN ISO 4210-1:2014. A: [en línia]. [Consulta: 28 maig 2019]. Disponible a: <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma/?c=N0053594>.
7. AENOR. Norma UNE-EN 16054:2013. A: [en línia]. [Consulta: 28 maig 2019]. Disponible a: <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma/?c=N0051071>.
8. Ministerio de cultura y deporte. Normalización en equipamientos para deportes.
9. Carmona, A., Cnmp, B. i Insht, S. Artículo de fondo Datos antropométricos de la población laboral española Informe de resultados.

ANNEX I. PLANIFICACIÓ

En la fase inicial de plantejament d'aquest Treball Final de Grau, iniciat a principis de febrer de 2019, es va haver de realitzar la planificació inicial i estimada del projecte per tal de definir les tasques a dur a terme i organitzar-les en el temps. En aquest cas però, al tractar-se d'un treball acadèmic, la planificació del mateix només inclou la fase d'enginyeria bàsica i enginyeria de detall del projecte, sense contemplar-ne l'execució.

La planificació inicial proposta no era definitiva i estava subjecte a canvis.

Primer de tot, es va definir l'estructura de descomposició del projecte (EDP) o més coneguda pel terme en anglès "WBS" (Work Breakdown Structure), identificant les tasques més significatives que comportaria l'elaboració del projecte.



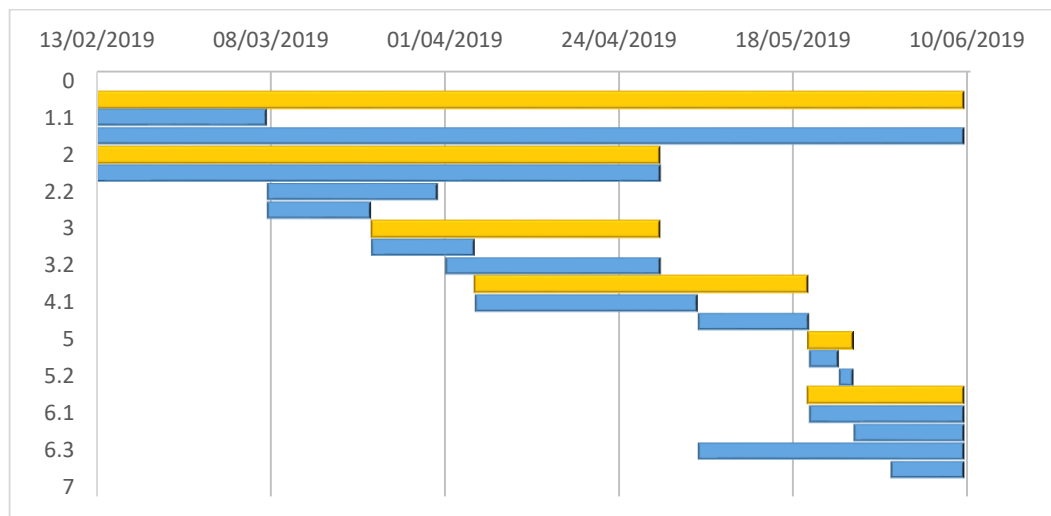
Imatge 56. Diagrama inicial de l'estructura de descomposició de tasques (WBS).

Un cop identificades les tasques que conformen l'elaboració del projecte, corresponent a la fase prèvia a l'execució del mateix, es va dur a terme un estudi estimatiu dels recursos necessaris per a realitzar cada tasca en termes de dedicació (hores) i d'aquesta manera poder programar les activitats i organitzar-les en el temps.

Amb l'assignació de recursos es va elaborar un diagrama de Gantt per tal de poder gestionar la programació i planificació del projecte de forma més senzilla i gràfica tot facilitant-ne el seguiment i control.

Taula 8. Programació de les tasques.

Codi WBS	DESCRIPCIÓ DE L'ACTIVITAT	Dedicació (H)	Dedicació (dies)	Data d'inici	Data de finalització
0	Inici Treball Final de Grau	0	0	13/02/2019	13/02/2019
1	Project Management	25	117	13/02/2019	10/06/2019
1.1	Project Charter	5	23	13/02/2019	08/03/2019
1.2	Seguiment	20	117	13/02/2019	10/06/2019
2	Estudi previ	35	76	13/02/2019	30/04/2019
2.1	Recerca bibliogràfica	20	76	13/02/2019	30/04/2019
2.2	Anàlisi de la competència i recerca de patents	10	23	08/03/2019	31/03/2019
2.3	Situació de partida (estat de l'art)	5	14	08/03/2019	22/03/2019
3	Fase de concepte	35	39	22/03/2019	30/04/2019
3.1	Estudi de la viabilitat tècnica de diferents geometries	20	14	22/03/2019	05/04/2019
3.2	Selecció de materials	15	29	01/04/2019	30/04/2019
4	Fase de disseny i enginyeria de detall	110	45	05/04/2019	20/05/2019
4.1	Disseny 3D	70	30	05/04/2019	05/05/2019
4.2	Càlcul estructural	40	15	05/05/2019	20/05/2019
5	Anàlisi de resultats	35	6	20/05/2019	26/05/2019
5.1	Optimització i redisseny	30	4	20/05/2019	24/05/2019
5.2	Conclusions	5	2	24/05/2019	26/05/2019
6	Documentació	60	21	20/05/2019	10/06/2019
6.1	Memòria	25	21	20/05/2019	10/06/2019
6.2	Pressupost	10	15	26/05/2019	10/06/2019
6.3	Plànols	20	36	05/05/2019	10/06/2019
6.4	Plec de condicions	5	10	31/05/2019	10/06/2019
7	Final Treball Final de Grau	0	0	10/06/2019	10/06/2019



Imatge 57. Diagrama de Gantt.

ANNEX II. INFORMES DE SOLIDWORKS



Descripción

Simulación numérica de análisis estático del cuadro de una bicicleta de trial para las condiciones y estado de carga del caso de estudio 1.

Simulación de XASSIS TRIAL - TFG

Fecha: viernes, 24 de mayo de 2019
Diseñador: Solidworks
Nombre de estudio: CAS 1
Tipo de análisis: Análisis estático

Tabla de contenidos

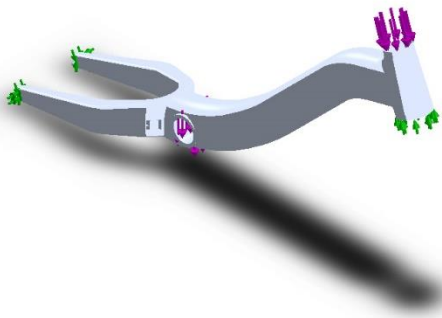

Descripción	1
Suposiciones	2
Información de modelo	2
Propiedades de estudio	3
Unidades	3
Propiedades de material	4
Cargas y sujeciones.....	5
Información de malla	6
Fuerzas resultantes.....	7
Resultados del estudio.....	7



Suposiciones

Se considera la distribución de carga explicada en la memoria para el peso de un piloto adulto y las condiciones de contorno regidas por la norma UNE-EN ISO 4210-6 para el ensayo con fuerza vertical.

Información de modelo

 Nombre del modelo: XASSIS TRIAL - TFG Configuración actual: Predeterminado			
Sólidos			
Nombre de documento y referencia	Tratado como	Propiedades volumétricas	Ruta al documento/Fecha de modificación
Redondeo13 	Sólido	Masa:3.96052 kg Volumen:0.00146686 m ³ Densidad:2700 kg/m ³ Peso:38.8131 N	F:\UNI\TFG\3D\XASSIS TRIAL - TFG.SLDPRT May 24 14:10:54 2019

Propiedades de estudio

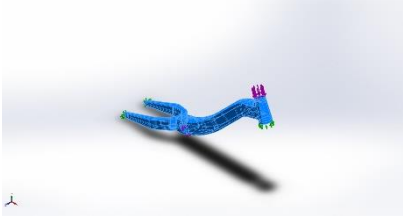
Nombre de estudio	CAS 1
Tipo de análisis	Análisis estático
Tipo de malla	Malla sólida
Efecto térmico:	Activar
Opción térmica	Incluir cargas térmicas
Temperatura a tensión cero	298 Kelvin
Incluir los efectos de la presión de fluidos desde SOLIDWORKS Flow Simulation	Desactivar
Tipo de solver	FFEPlus
Efecto de rigidización por tensión (Inplane):	Desactivar
Muelle blando:	Desactivar
Desahogo inercial:	Desactivar
Opciones de unión rígida incompatibles	Automático
Gran desplazamiento	Desactivar
Calcular fuerzas de cuerpo libre	Activar
Fricción	Desactivar
Utilizar método adaptativo:	Desactivar
Carpeta de resultados	Documento de SOLIDWORKS (F:\UNI\TFG\3D)

Unidades

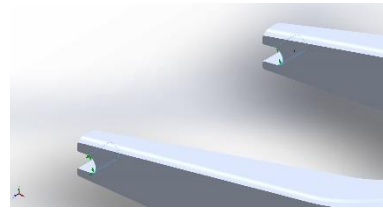
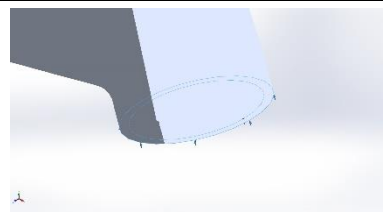
Sistema de unidades:	Métrico (MKS)
Longitud/Desplazamiento	mm
Temperatura	Kelvin
Velocidad angular	Rad/seg
Presión/Tensión	N/m ²

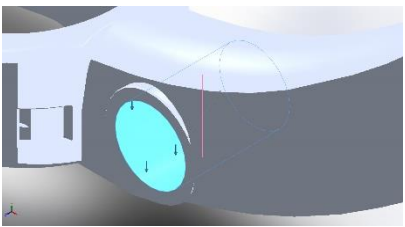
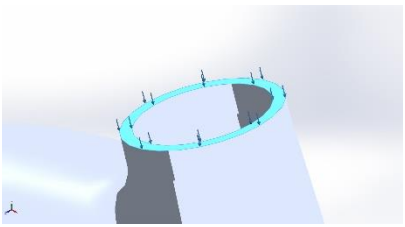


Propiedades de material

Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	<p> Nombre: 6061-T6 (SS) Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal Criterio de error predeterminado: Desconocido Límite elástico: 2.75e+08 N/m² Límite de tracción: 3.1e+08 N/m² Módulo elástico: 6.9e+10 N/m² Coeficiente de Poisson: 0.33 Densidad: 2700 kg/m³ Módulo cortante: 2.6e+10 N/m² Coeficiente de dilatación térmica: 2.4e-05 /Kelvin </p>	<p>Sólido 1(Redondeo13)(XASSIS TRIAL - TFG)</p>
Datos de curva:N/A		

Cargas y sujeciones

Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción			
Bisagra fija-1		Entidades: 2 cara(s) Tipo: Bisagra fija			
Fuerzas resultantes					
Componentes	X	Y	Z	Resultante	
Fuerza de reacción(N)	114.222	382.867	-0.00140285	399.542	
Momento de reacción(N.m)	0	0	0	0	
Rodillo/Control deslizante-1		Entidades: 1 cara(s) Tipo: Rodillo/Control deslizante			
Fuerzas resultantes					
Componentes	X	Y	Z	Resultante	
Fuerza de reacción(N)	-201.729	602.904	0	635.758	
Momento de reacción(N.m)	0	0	0	0	

Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga	
Fuerza-1		Entidades: 1 cara(s) Tipo: Aplicar fuerza Valores: ---, ---, -724.25 N	
Fuerza-2		Entidades: 1 cara(s) Tipo: Aplicar fuerza normal Valor: 275.75 N	



Información de malla

Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado:	Malla basada en curvatura
Puntos jacobianos	4 Puntos
Tamaño máximo de elemento	3 mm
Tamaño mínimo del elemento	0.6 mm
Trazado de calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden

Información de malla - Detalles

Número total de nodos	962749
Número total de elementos	612937
Cociente máximo de aspecto	48.179
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	99.6
% de elementos cuyo cociente de aspecto es > 10	0.00473
% de elementos distorsionados (Jacobiana)	0
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):	00:00:59
Nombre de computadora:	

Nombre del modelo: XASSIS TRIAL - TFG
Nombre de estudio: CAS 11-Predeterminado-)
Tipo de malla: Malla sólida



Fuerzas resultantes

Fuerzas de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N	-87.5066	985.771	-0.00140285	989.647

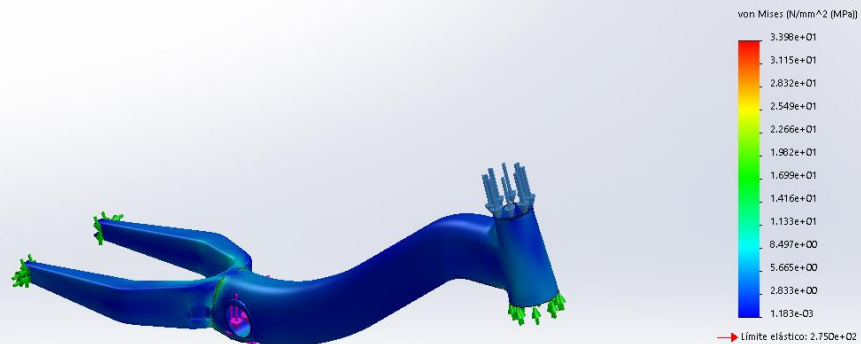
Momentos de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N.m	0	0	0	0

Resultados del estudio

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Tensiones1	VON: Tensión de von Mises	1.183e-03 N/mm ² (MPa) Nodo: 78	3.398e+01 N/mm ² (MPa) Nodo: 140279

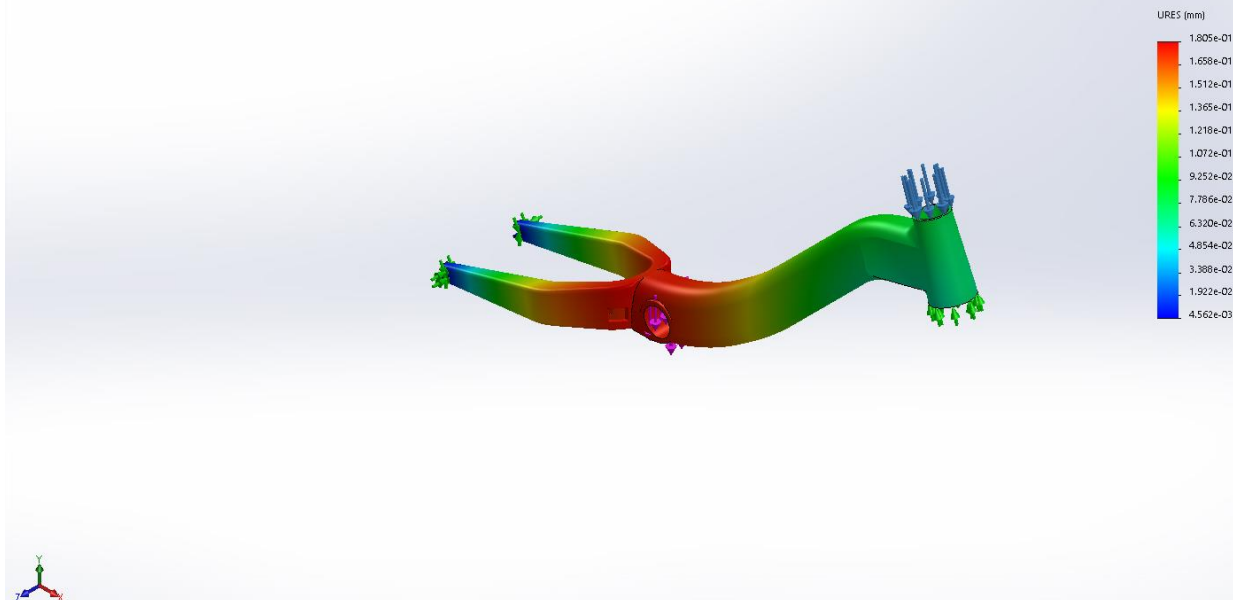
Nombre del modelo: XASSIS TRIAL - TFG
Nombre de estudio: CAS 1 (Predeterminado)
Tipo de resultado: Análisis estático tensión nodal Tensiones1
Escala de deformación: 1



XASSIS TRIAL - TFG-CAS 1-Tensiones-Tensiones1

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Desplazamientos1	URES: Desplazamientos resultantes	4.562e-03 mm Nodo: 149852	1.805e-01 mm Nodo: 140175

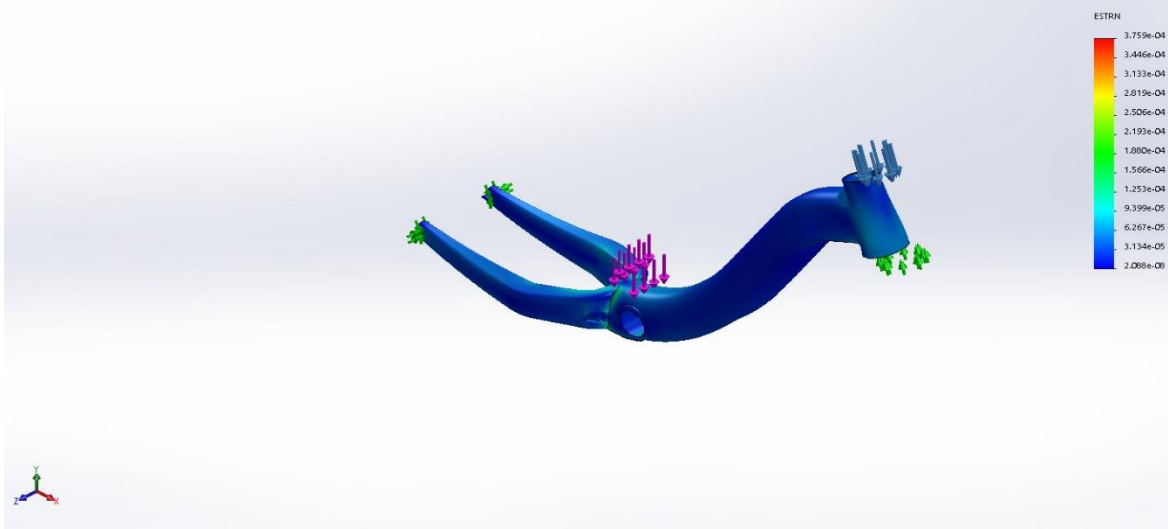
Nombre del modelo: XASSIS TRIAL - TFG
Nombre de estudio: CAS 1(-Predeterminado-)
Tipo de resultado: Desplazamiento estático Desplazamientos1
Escala de deformación: 1



XASSIS TRIAL - TFG-CAS 1-Desplazamientos-Desplazamientos1

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Deformaciones unitarias1	ESTRN: Deformación unitaria equivalente	2.088e-08 Elemento: 40040	3.759e-04 Elemento: 33932

Nombre del modelo: XASSIS TRIAL - TFG
Nombre de estudio: CAS 1(-Predeterminado-)
Tipo de resultado: Deformación unitaria estática Deformaciones unitarias1
Escala de deformación: 505.348



XASSIS TRIAL - TFG-CAS 1-Deformaciones unitarias-Deformaciones unitarias1



Descripción

Simulación numérica de análisis estático del cuadro de una bicicleta de trial para las condiciones y estado de carga del caso de estudio 2.

Simulación de XASSIS TRIAL - TFG

Fecha: domingo, 26 de mayo de 2019

Diseñador: Solidworks

Nombre de estudio: CAS 2

Tipo de análisis: Análisis estático

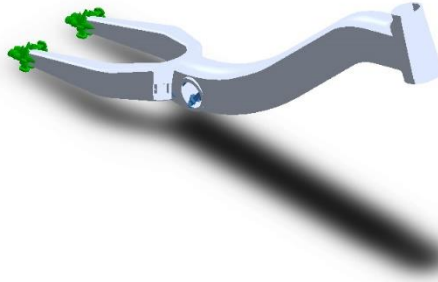
Tabla de contenidos

Descripción	1
Suposiciones	2
Información de modelo	2
Propiedades de estudio	3
Unidades	3
Propiedades de material	4
Cargas y sujeciones.....	5
Información de malla	6
Fuerzas resultantes.....	7
Resultados del estudio.....	7

Suposiciones


Se considera la distribución de carga explicada en la memoria para el peso de un piloto adulto y las condiciones de contorno tomadas como hipótesis de trabajo también explicadas en la memoria.

Información de modelo



Nombre del modelo: XASSIS TRIAL - TFG
Configuración actual: Predeterminado

Sólidos

Nombre de documento y referencia	Tratado como	Propiedades volumétricas	Ruta al documento/Fecha de modificación
Redondeo13 	Sólido	Masa:3.96052 kg Volumen:0.00146686 m ³ Densidad:2700 kg/m ³ Peso:38.8131 N	F:\UNI\TFG\3D\XASSIS TRIAL - TFG.SLDPR T May 28 11:34:56 2019

Propiedades de estudio

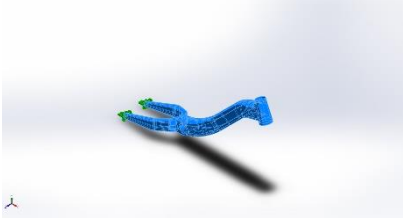
Nombre de estudio	CAS 2
Tipo de análisis	Análisis estático
Tipo de malla	Malla sólida
Efecto térmico:	Activar
Opción térmica	Incluir cargas térmicas
Temperatura a tensión cero	298 Kelvin
Incluir los efectos de la presión de fluidos desde SOLIDWORKS Flow Simulation	Desactivar
Tipo de solver	FFEPlus
Efecto de rigidización por tensión (Inplane):	Desactivar
Muelle blando:	Desactivar
Desahogo inercial:	Desactivar
Opciones de unión rígida incompatibles	Automático
Gran desplazamiento	Desactivar
Calcular fuerzas de cuerpo libre	Activar
Fricción	Desactivar
Utilizar método adaptativo:	Desactivar
Carpeta de resultados	Documento de SOLIDWORKS (F:\UNI\TFG\3D)

Unidades

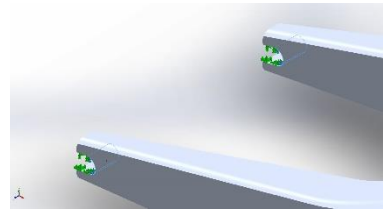
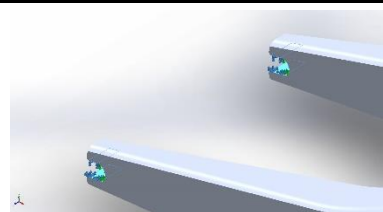
Sistema de unidades:	Métrico (MKS)
Longitud/Desplazamiento	mm
Temperatura	Kelvin
Velocidad angular	Rad/seg
Presión/Tensión	N/m ²

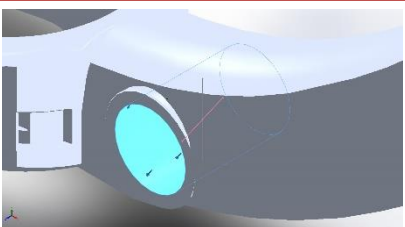


Propiedades de material

Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	<p> Nombre: 6061-T6 (SS) Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal Criterio de error predeterminado: Desconocido Límite elástico: 2.75e+08 N/m² Límite de tracción: 3.1e+08 N/m² Módulo elástico: 6.9e+10 N/m² Coeficiente de Poisson: 0.33 Densidad: 2700 kg/m³ Módulo cortante: 2.6e+10 N/m² Coeficiente de dilatación térmica: 2.4e-05 /Kelvin </p>	<p>Sólido 1(Redondeo13)(XASSIS TRIAL - TFG)</p>
Datos de curva:N/A		

Cargas y sujeciones

Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción			
Fijo-1		Entidades: 2 cara(s) Tipo: Geometría fija			
Fuerzas resultantes					
Componentes	X	Y	Z	Resultante	
Fuerza de reacción(N)	-2804.45	8729.6	0.407014	9169.02	
Momento de reacción(N.m)	0	0	0	0	
Fijo-2		Entidades: 4 cara(s) Tipo: Geometría fija			
Fuerzas resultantes					
Componentes	X	Y	Z	Resultante	
Fuerza de reacción(N)	3356.56	-7992.05	-8.11131	8668.3	
Momento de reacción(N.m)	0	0	0	0	

Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga
Fuerza-1		Entidades: 1 cara(s) Tipo: Aplicar fuerza Valores: ---, ---, -1000 N



Información de malla

Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado:	Malla basada en curvatura
Puntos jacobianos	4 Puntos
Tamaño máximo de elemento	3 mm
Tamaño mínimo del elemento	0.6 mm
Trazado de calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden

Información de malla - Detalles

Número total de nodos	957895
Número total de elementos	609799
Cociente máximo de aspecto	47.873
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	99.6
% de elementos cuyo cociente de aspecto es > 10	0.00443
% de elementos distorsionados (Jacobiana)	0
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):	00:00:57
Nombre de computadora:	

Nombre del modelo: XASSIS TRIAL - TFG
Nombre de estudio: CAS 26 (Predeterminado-)
Tipo de malla: Malla sólida



Fuerzas resultantes

Fuerzas de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N	573.438	819.206	-0.0660157	999.965

Momentos de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N.m	0	0	0	0

Resultados del estudio

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Tensiones1	VON: Tensión de von Mises	6.444e-07 N/mm ² (MPa) Nodo: 905221	1.128e+02 N/mm ² (MPa) Nodo: 149211

Nombre del modelo: XASSIS TRIAL - TFG
Nombre de estudio: CAS 2 (-Predeterminado-)
Tipo de resultado: Análisis estático tensión nodal Tensiones1
Escala de deformación: 20.3262



XASSIS TRIAL - TFG-CAS 2-Tensiones-Tensiones1

